

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМ. ІГОРЯ  
СІКОРСЬКОГО»**

**ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ  
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ  
АППАРАТУРИ**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Лисенко О.М.

(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Дипломний проект  
на здобуття ступеня бакалавра**

зі спеціальності 6.050902 РАДІОЕЛЕКТРОННІ АПАРАТИ  
(код та назва напрямку підготовки або спеціальності)

на тему Мікропроцесорна система визначення інтенсивності руху  
автотранспорту

Виконав: студент IV курсу, групи ДК-52

Мирошніченко Єгор Максимович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник доцент Кучернюк П.В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному  
проекті немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Київ - 2019

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»**

Факультет електроніки

Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури

Освітньо-кваліфікаційний рівень – бакалавр

Спеціальність 6.050902 РАДІОЕЛЕКТРОННІ АПАРАТИ  
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Лисенко О.М.

(підпис)

(прізвище ініціали)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проект студенту**

Мирошніченка Єгора Максимовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Мікропроцесорна система визначення інтенсивності руху автотранспорту

керівник проекту Кучернюк Павло Валентинович, доцент

затверджені наказом по університету від 27.05.2019 року №1405с

2. Термін подання студентом проекту 10 червня 2019 року

3. Вихідні дані до проекту. Малогабаритна мікропроцесорна система визначення інтенсивності руху автотранспорту має відповідати наступним вимогам:

- здатність системи детектувати рух транспортних засобів за умови багаторядного руху та в процесі перелаштування авто між смугами;

- високий запас надійності системи;
- здатність системи працювати при «тяжких» температурних умовах;
- пристрій має виконувати цифрову обробку результатів вимірювань.

До основного функціоналу системи можна віднести:

- вимір збурень магнітного поля (реалізується за рахунок двох датчиків Холла);
- визначення, на основі збурень магнітного поля, напрямку і швидкості руху об'єкту;
- відображення швидкості і напрямку руху об'єкту.

#### 4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

- аналіз технічного завдання;
- огляд існуючих засобів керування, патентний пошук;
- вибір методу визначення інтенсивності руху;
- розробка структурної схеми та пояснення принципу роботи модулю;
- розробка схеми електричної принципової;
- обґрунтування вибору елементної бази;
- конструкторсько-технологічні розрахунки;
- обґрунтування вибору матеріалу друкованої плати;
- обґрунтування вибору класу точності друкованої плати;
- обґрунтування вибору методу виготовлення друкованої плати;
- розміщення компонентів на друкованій платі;
- проектування у Altium Designer;
- електричний розрахунок друкованої плати;
- розрахунок надійності друкованої плати;
- розрахунок віброміцності друкованої плати;
- написання програми для візуалізації отриманих даних;
- написання програми для мікроконтролера;

- налагодження і тестування апаратно програмного комплексу;
- висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів, презентацій тощо):

- креслення коробки;
- схема електрична принципова;
- друкована плата;
- складальне креслення друкованої плати.

6. Дата видачі завдання: 04.09.2018 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання Дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Збір і аналіз літератури, патентний пошук, постановка завдання на проектування	04.09.18-31.12.18	виконано
2	Аналіз технічного завдання	01.01.19-26.02.19	виконано
3	Вибір елементної бази та друкованої плати	26.02.19-02.04.19	виконано
4	Схемо-технічне проектування	02.04.19-09.04.19	виконано
5	Виконання креслень схеми електричної принципової	09.04.19-23.04.19	виконано
6	Конструкторсько-технологічні розрахунки	23.04.19-30.04.19	виконано
7	Електричний розрахунок друкованої плати	30.04.19-07.05.19	виконано
8	Розрахунок віброміцності друкованої плати	07.05.19-14.05.19	виконано
9	Проектування у Altium Designer	14.05.19-21.05.19	виконано
10	Виконання креслень друкованої плати та складального креслення друкованого вузла	21.05.19-28.05.19	виконано
11	Оформлення пояснювальної записки	28.05.19-16.06.19	виконано

Студент \_\_\_\_\_ Мирошніченко Є.М.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту \_\_\_\_\_ Кучернюк П.В.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## Анотація

Обсяг пояснювальної записки - 81 сторінка, 5 розділів, 23 ілюстрації, 11 таблиць та 18 джерел в переліку посилань.

Метою роботи є створення інформаційної систем моніторингу дорожнього руху на базі обробки даних, отриманих завдяки чутливим сенсорам магнітного поля для поліпшення моніторингу транспортного руху.

Методи, що використовувались у ході дипломного проектування: схемотехнічного проектування, конструкторсько-технологічного проектування, імітаційного моделювання і натурного експерименту.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішені наступні задачі: розроблено метод визначення інтенсивності руху, який базується на ефекті Холла; розроблено структурну схему системи; для створення макетного зразку обрано відлагоджувальну плату Arduino Pro Mini, розроблено схему електричну принципову та проведено ряд розрахунків номіналів пасивних елементів схеми, що дало змогу провести вибір елементної бази для реалізації проекту; проведено конструкторсько-технологічне проектування друкованого вузла та виконано ряд розрахунків, які підтвердили його працездатність; розроблено програмне забезпечення для мікроконтролера, яке реалізує алгоритми обрахунків базових параметрів для визначення транспортного руху та у середовищі LabVIEW розроблено програму візуалізації; у ході натурного експерименту виконано налагодження і тестування апаратно-програмного комплексу.

За результатами роботи підготовлено дві публікації (тези доповіді на конференцію та стаття до фахового науково-технічного журналу «Електронна та Акустична Інженерія»), які прийняті до друку.

Результати дипломного проектування впроваджено в ТОВ «УНІВЕРСИТЕТ СЕДІКОММ» для подальшого використання при розробці відповідних пристроїв.

Ключові слова — датчики Холла; магнітно-резонансний ефект; зональні контролери; моніторинг руху транспортних засобів.

## Summary

The volume of the explanatory note is 81 pages, 5 sections, 23 illustrations, 11 tables and 18 sources in the list of references.

The purpose of the work is to create an information system for monitoring traffic on the basis of data processing obtained through sensitive magnetic field sensors to improve the monitoring of traffic.

Methods used during diploma design: circuit design, design and technological design, simulation and full-scale experiment.

To achieve this goal, the following tasks were solved: a method for determining the intensity of motion based on the Hall effect was developed; the structural scheme of the system is developed; Arduino Pro Mini debugging board was chosen to create a model sample, a circuit diagram of electrical principles was developed and a number of calculations of the values of the passive elements of the circuit were made, which made it possible to select the element base for the project implementation; Design and technological design of the printed site was carried out and a number of calculations were made that confirmed its efficiency; The software for the microcontroller was developed, which implements algorithms for calculating the basic parameters for determining the traffic flow and in the LabVIEW environment, a visualization program was developed; in the course of a full-scale experiment the debugging and testing of the hardware and software complex was performed.

As a result of the work, two publications were prepared (abstracts of the report for the conference and an article in the scientific and technical journal "Electronic and Acoustic Engineering"), which were accepted for publication.

The results of the diploma design have been implemented at LLC SEDICOM UNIVERSITY for further use in the development of appropriate devices.

Keywords - Hall sensors; magnetic resonance effect; area controllers; monitoring of vehicle movement.

# **Пояснювальна записка до дипломного проекту**

на тему: **Мікропроцесорна система визначення інтенсивності руху  
автотранспорту**

Київ – 2019



## ЗМІСТ

Перелік скорочень, умовних позначень, термінів .....	3
ВСТУП .....	4
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ ТА ПАТЕНТНИЙ ПОШУК .....	6
1.1 Аналіз існуючих рішень фіксації руху автомобілів .....	6
1.2 Патентний пошук аналогів .....	10
1.3 Метод визначення інтенсивності руху на основі ефекту Холла .....	12
Висновки до розділу .....	13
РОЗДІЛ 2 СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ПРИСТРОЮ .....	14
2.1 Розробка структурної схеми та принцип роботи модулю .....	14
2.2 Розробка та розрахунок схеми електричної принципової .....	16
2.3 Вибір елементної бази для реалізації проекту .....	19
Висновки до розділу .....	27
РОЗДІЛ 3 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛА .....	28
3.1 Виконання конструкторсько-технологічного розрахунку елементів друкованого монтажу .....	28
3.2 Вибір типу та матеріалу ДП .....	35
3.3 Вибір класу точності ДП .....	36
3.4 Обґрунтування методу виготовлення ДП .....	39
3.5 Розміщення конструкторських елементів (КЕ) в монтажному просторі плати .....	39

					ДК52.466453.001 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Мирошніченко				Мікропроцесорна система визначення інтенсивності руху автотранспорту Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркцшів
Перевірив							1	81
Реценз.						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФЕ/І, КЕОА, зр. ДК-52		
Н. Контр.	Лисенко О.І.							
Затвердив	Кучернюк П.В.							

3.6	Проектування друкованих плат у середовищі Altium Designer .....	43
3.7	Електричний розрахунок друкованої плати .....	45
3.8	Розрахунок надійності друкованого вузла .....	49
3.9	Розрахунок віброміцності друкованого вузла.....	53
	Висновки до розділу.....	59
<b>РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМУВАННЯ ПРИСТРОЮ.....</b>		<b>61</b>
4.1	Програмне забезпечення для візуалізації .....	61
4.2	Програмне забезпечення для мікроконтролера.....	64
	Висновки до розділу.....	67
<b>РОЗДІЛ 5 НАЛАГОДЖЕННЯ І ТЕСТУВАННЯ АПАРАТНО</b>		
<b>ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ .....</b>		<b>68</b>
5.1	Налагодження апаратно-програмного комплексу .....	68
5.2	Результати вимірювань.....	72
	Висновки до розділу.....	74
<b>ВИСНОВКИ .....</b>		<b>76</b>
<b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....</b>		<b>79</b>
Додаток А. Технічне завдання на проектування .....		82
Додаток Б. Програма мікропроцесора для передачі даних на ПК .....		86
Додаток В. Наукова публікація .....		92
Додаток Г. Наукова публікація 2 .....		96
Додаток Д. Акт про впровадження .....		99
Додаток Е. Мікропроцесорна система визначення інтенсивності руху автотранспорту. Перелік елементів .....		100
Додаток Ж. Специфікація.....		102

## Перелік скорочень, умовних позначень, термінів

ДП – друкована плата

ДМ – друкований монтаж

ДВ – друкований вузол

КЕ – конструктивні елементи

МК – мікроконтролер

ПМ – посадкове місце

ПЗ – програмне забезпечення

САПР – система автоматизованого проектування.

УГП – умовно-графічне позначення

ТЗ – транспортний засіб

ЗК – зональний контроллер

					<i>ДК52.466453.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

## ВСТУП

Враховуючи зростаючі темпи збільшення автомобільного трафіку, актуальним є питання моніторингу транспортного руху для ефективної оцінки проблемних ділянок траси, отримання оперативної дорожньо-транспортної інформації, керування рухом у мегаполісах, регулювання тривалості світлофорних тактів та своєчасного вмикання інформаційних знаків.

Основою інформаційних системи моніторингу дорожнього руху є візуальні спостерігачі та датчики дорожньо-транспортних параметрів. В даному дипломному проекті розглянуто основні принципи моніторингу дорожнього трафіку. До розглянутих у даному дипломному проекті способів фіксації руху автомобілів можна віднести: оптичну та ультразвукову схему з перетином променя, магнітні ворота і т.д. До розглянутих у даному дипломному проекті систем управління транспортними потоками відносяться: автоматизована система управління дорожнім рухом та інтелектуальна система управління транспортними потоками.

Метою даної роботи є створення інформаційної систем моніторингу дорожнього руху на базі обробки даних отриманих завдяки чутливим сенсорам магнітного поля для поліпшення моніторингу транспортного руху і ефективної оцінки проблемних ділянок траси, отримання оперативної дорожньо-транспортної інформації, керування рухом у мегаполісах, регулювання тривалості світлофорних тактів та своєчасного вмикання інформаційних знаків. В ході виконання дипломного проекту планується вирішити задачі по вибору дієвого методу детектування руху транспорту, виконати схемотехнічне проектування, виконати конструкторсько-технологічні розрахунки схеми і друкованого вузлу, реалізувати програмну частину і провести натурні експерименти.

Існуючі на даний момент трафік-сенсори показують незадовільні результати в умовах інтенсивного руху транспортних засобів (ТЗ), паркування ТЗ на смузі руху, візуального перекриття ТЗ трафік-сенсора та при русі ТЗ поміж смуг [1].

					<i>ДК52.466453.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

Аналіз існуючих систем моніторингу показує, що слабким місцем таких систем є саме датчики/способи якими детектується рух. Тому, основною задачею при створенні нової системи контролю дорожнього руху постав вибір ефективного методу фіксації руху транспортного засобу.

Враховуючи зростаючі темпи збільшення автомобільного трафіку по всьому світу, постає актуальним питання боротьби із заторами [2]. Саме тому, як актуальне, було обрано питання моніторингу транспортного руху для отримання оперативної дорожньої інформації, керування рухом у мегаполісах, регулювання тривалості світлофорних тактів та своєчасного вмикання інформаційних знаків.

Для вирішення існуючої проблеми були проведені наступні етапи:

- 1) складено і проаналізовано ТЗ, виконаний патентний пошук;
- 2) вконе схемотехнічне проектування пристрою;
- 3) вконе конструкторсько-технологічне проектування друкованого вузла;
- 4) вконе програмування пристрою;
- 5) вконе налагодження і тестування апаратно-програмного компелксу.

В дипломному проекті запропоновано архітектуру системи з використанням датчиків Холла для збору первинної інформації про рух транспортних засобів. Розроблено апаратну реалізацію дослідного зразку блоку обробки даних системи та експериментально доведено можливість застосування магнітно-резонансного ефекту для визначення інтенсивності руху автотранспорту.

Пристрій належить до області автоматизованих систем оптимізації контролю дорожнього руху. І націлений на використання для регулювання дорожнього трафіку.

					<i>ДК52.466453.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

# РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ ТА ПАТЕНТНИЙ ПОШУК

Як було визначено у вступі, питання моніторингу транспортного руху є досить актуальним і важливим, особливо у масштабах мегаполісу. Основою інформаційної системи моніторингу дорожнього руху є візуальні спостерігачі та датчики дорожньо-транспортних параметрів. Від їх функціональних можливостей та достовірності даних великою мірою залежить ефективність роботи всієї інформаційної системи. Сучасні системи контролю дорожнього трафіку базуються на зональних контролерах (ЗК), які складаються з датчика для отримання первинної інформації про рух транспортних засобів та мікропроцесорного блоку попередньої обробки даних [2]. Найчастіше використовують оптичні та ультразвукові датчики, магнітні ворота, системи відеоспостереження [3]. Існуючі трафік-сенсори іноземного виробництва показують незадовільні результати в умовах інтенсивного руху транспортних засобів (ТЗ), паркування ТЗ на смузі руху, візуального перекриття ТЗ трафік-сенсора та при русі ТЗ поміж смуг. Це приводить до передчасного переходу ЗК до функціонального стану «затор», та значного зниження інформативності системи.

Задачею даною розділу є аналіз існуючих систем моніторингу дорожнього трафіку, визначення переваг і недоліків існуючих аналогів, патентний пошук і вибір оптимального способу моніторингу дорожнього руху.

## 1.1 Аналіз існуючих рішень фіксації руху автомобілів

В існуючих системах моніторингу дорожнього трафіку найчастіше використовуються наступні способи фіксації руху автомобілів:

- оптичний;
- індуктивний;
- ультразвуковий;

					ДК52.466453.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

- відеоспостереження.

Розглянемо особливості цих методів.

### **Оптичний метод фіксації**

Цей метод базується на принципі перетину автомобілем оптичного променя [4], під час якого і відбувається безпосередня реєстрація кількості проїжджаючих транспортних засобів. До недоліків такого методу можна віднести:

- 1) при багаторядному русі неможливо виконати кількісну оцінку, визначити напрямок руху і швидкість автомобіля;
- 2) відбиття променя від днища автотранспорту може не відбуватися через бруд і наявність масляних покриттів на ньому (чорний колір поглинає промені).

### **Індуктивний метод фіксації**

В основу методу покладено збурення автомобілем магнітних полів індуктивних воріт [5], завдяки чому і відбувається реєстрація кількості проїжджаючих транспортних засобів. До недоліків такого методу можна віднести:

- 1) магнітні ворота дорого коштують;
- 2) магнітні ворота дуже не вандалостійкі.

### **Ультразвуковий метод фіксації**

Метод базується на принципі відбиття від кузову автомобіля ультразвукового променя [6], під час цього процесу і відбувається безпосередня реєстрація кількості проїжджаючих транспортних засобів. До недоліків такого методу можна віднести:

- 1) при багаторядному русі неможливо виконати кількісну оцінку, визначити напрямок руху і швидкість автомобіля;
- 2) неможливо захистити активний елемент від бруду, тому що він повинен завжди бути відкритим.

### **Метод фіксації дорожнього руху шляхом відеоспостереження**

Даний метод базується на принципі комп'ютерного зору [7]. Тобто мережа відеокамер, чи поодинокі відеокамери фіксують порушення автомобілем швидкісного режиму чи правил дорожнього руху. До основних недоліків такого методу можна віднести:

					<i>ДК52.466453.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

1) відсутність можливості розпізнавання сильно забруднених державних реєстраційних знаків в поганих погодних умовах (туман, дощ, сніг) або навмисно забруднених номерних знаків;

На сьогоднішній день найбільше поширення отримали дві промислові системи управління транспортними потоками:

- автоматизована система управління дорожнім рухом;
- інтелектуальна система управління транспортними потоками.

Автоматизована система управління дорожнім рухом (АСКДР) [8] - це комплекс технічних, програмних та організаційних заходів, що забезпечують збір та обробку інформації про параметри транспортних потоків і на основі цього оптимізують управління рухом.

Основні функції системи:

- вимір поточних погодних умов у різних районах міста;
- вимір стану дорожнього покриття на ділянках доріг;
- можливість управління світлодіодним табло і розпилювачем реагентів;
- архівування вимірної інформації на засобах зберігання даних (сервер);
- візуальне інтерактивне уявлення поточної ситуації з площадок вимірювання на засобах відображення (робочі місце оператора);
- можливість перегляду архівних даних;
- функції прогнозу метеоумов.

Інтелектуальна система управління транспортними потоками (ІСУТП) [9] – це глобальний координаційний центр (ГКЦ) який аналізує кількість заявок, на переміщення від окремих водіїв і будує для них маршрут переміщення відповідно до завантаженості трас, кліматичних умов, часу доби, дня тижня. Приймає рішення з організації роботи світлофора, виходячи з транспортної необхідності.

Після проведення аналізу існуючих підсистем можна сказати, що вони не дозволяють повною мірою поліпшити динаміку руху транспортних потоків. В основному такі системи розроблялися в Москві, але всі проекти були закриті, так і залишивши проблеми з дорожнім трафіком не вирішеною.

					<i>ДК52.466453.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8



Для пошуку оптимального рішення для фіксації руху автомобілів, було проаналізовано існуючі на даний момент системи контролю дорожнього руху [4], які використовують різні фізичні ефекти та відповідні датчики для збору первинної інформації. У таблиці 1 наведено порівняльний аналіз базових особливостей найбільш поширених методів моніторингу інтенсивності руху, а саме: оптичних датчиків, ультразвукових датчиків, індуктивних воріт і відеоспостереження.

Аналіз існуючих систем моніторингу показує, що слабким місцем таких систем є саме датчики/способи якими детектується рух. Тому, основною задачею при створенні нової системи контролю дорожнього руху є вибір ефективного методу фіксації руху транспортного засобу. Нижче буде розглянуто, метод, що базується на ефекті Холла та показана можливість його застосування в системах моніторингу дорожнього трафіку.

Таблиця 1 - Порівняльна таблиця існуючих методів моніторингу інтенсивності руху

<div>Існуючі рішення</div> <div>Проблеми</div>	<i>Оптичні датчики</i>	<i>Ультразвукові датчики</i>	<i>Індуктивні ворота</i>	<i>Відеоспостереження</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>Багаторядний рух</i>	Схема з перетином променю (при багаторядному русі неможливо виконати кількісну оцінку, визначити напрямок руху і швидкість автомобіля).	Схема з перетином променю (при багаторядному русі неможливо виконати кількісну оцінку, визначити напрямок руху і швидкість автомобіля).	Недоцільне і дороге встановлення воріт при багаторядному русі (неможливо виконати кількісну оцінку, визначити напрямок руху і швидкість автомобіля).	Проблема вирішується збільшенням кількості камер, або особливим налаштуванням програмного забезпечення, що відповідно впливає на вартість системи в цілому.

## Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5
<b>Бруд</b>	Відбиття променю від днища автотранспорту може не відбуватися через бруд і наявність масляних покриттів на ньому.	Неможливо захистити активний елемент від бруду, тому що він повинен завжди бути відкритим.	Ніяк не впливає на функціонування магнітних воріт.	Є вірогідність забруднення камер спостереження.
<b>Вартість</b>	Помірна ціна.	Помірна ціна.	Дороге рішення, не вандалостійке.	Висока вартість, по більшій мірі через програмне забезпечення.

## 1.2 Патентний пошук аналогів

Перед реалізацією мікропроцесорної системи визначення інтенсивності руху автотранспорту, в першу чергу необхідно було визначити, чи існують певні аналоги що працюють за схожим принципом, і які б задовольнили вимоги висунуті до системи.

Першим розглянутим патентом, який використовує у своїй роботі ефект Холла є «Railway wheel sensor employing hall effect devices and corresponding method», авторів Glen Appleby, Stephen W. Brown, Kostas Papazoglou, у 2005 році [10]. Номер патенту в базі Європейського патентного офісу – EP1899209B1. Цей патент пропонує спосіб виявлення наявності коліс рейкового транспортного. Даний патент не несе практичного значення в рамках моєї дипломної роботи, і був обраний для ознайомлення з методами використання ефекту Холла.

Другим розглянутим варіантом стала «Система для автоматизованого контролю дотримання водієм автомобіля правил дорожнього руху та визначення

факту виникнення дорожньо-транспортної пригоди» авторів Лук'янова О.О., Дохов О.І., Сітенко О.М., Грінченко О.В., Лук'янов О.М. [11]. Дане рішення запропоновано у 2009 році. Рішення засноване на багатофункціональній бортовій апаратурі, центрі збору і обробки інформації. Запропоноване рішення належить до навігаційної техніки, що в свою чергу має також ряд недоліків:

- 1) не відбувається автоматичного аналізу визначених параметрів;
- 2) темп визначення параметрів руху за допомогою GPS трекера є недостатньо високим.

Третім розглянутим патентом є «Способ определения скорости движения и координат транспортных средств с последующей их идентификацией и автоматической регистрацией нарушений правил дорожного движения и устройство для его осуществления». Номер патенту в WIPO (PCT) - WO2011096840A1, від 2010 року [12]. Даний патент, заснований на випроміненні в напрямку руху транспортних засобів електромагнітного випромінювання, і прийомі імпульсів відбитого електромагнітного випромінювання. Дальність і швидкість руху транспортних засобів обчислюють шляхом порівняння параметрів випромінених і прийнятих імпульсів і порівнюють виміряну швидкість транспортного засобу (ТЗ) з максимально дозволеною на даній ділянці, в разі реєстрації перевищення швидкості, за допомогою відеокамери з подальшою ідентифікацією ТЗ відбувається автоматична реєстрація порушень швидкісного режиму. Але даний метод має велику ймовірність помилкового визначення ТЗ пов'язану з багаторядним рухом.

Дослідивши різні варіанти запатентованих та запропонованих пристроїв, було вирішено створити власний пристрій, який має свою структуру, будову та реалізацію.

### 1.3 Метод визначення інтенсивності руху на основі ефекту

#### Холла

В даному розділі розглядається доцільність використання ефекту Холла, як основи для методу визначення інтенсивності руху.

Незважаючи на широкий розвиток і застосування різноманітних систем (відеофіксація, перетин оптичного/ультразвукового променя, використання магнітних воріт), в даний час не існує аналогів системи на основі датчиків Холла, запропонованої в даній роботі. Новизна і оригінальність розроблюваної системи підтверджені проведеними патентним пошуком.

Кожний транспортний засіб має у своєму кузові металеві елементи і, при своєму переміщенні, він буде тим чи іншим чином впливати на магнітне поле Землі.

У загальному розумінні ефект Холла - це виникнення в твердому провіднику з щільністю струму  $j$ , розміщеному в магнітне поле напруженістю  $H$ , електричного поля напруженістю  $E_H$  в напрямку, перпендикулярному  $H$  і  $j$  [13]. Величина напруженості електричного поля (поля Холла) визначається наступним чином (1.0):

$$E_H = RHj \sin \alpha, \quad (1.0)$$

де  $\alpha$  – кут між  $H$  і  $j$  ( $\alpha < 180^\circ$ ).

Аналізуючи збурення магнітного поля викликаного переміщенням об'єкта з феромагнітними елементами (транспортного засобу зі сталевими і залізними деталями) над сенсорами магнітного поля і вимірюючи затримку між моментами спрацьовування двох сенсорів можна визначити усереднену швидкість руху об'єкта (1.1):

					ДК52.466453.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

$$V = \frac{\Delta L}{\Delta t}, \quad (1.1)$$

де:

- $\Delta L$  - відстань між сенсорами  $S_0$  та  $S_1$ ;
- $\Delta t$  - різниця в часі спрацювання сенсорів.

Реєструючи профіль зміни збурення магнітного поля в часі над одним датчиком, і знаючи швидкість руху об'єкта -  $V$ , можна визначити довжину об'єкта (1.2):

$$X = V * (t_{end} - t_{start}), \quad (1.2)$$

де:

- $t_{end}$  - час закінчення збурення;
- $t_{start}$  - час початку збурення.

За основу методу визначення інтенсивності руху було обрано ефект Холла, і саме цей ефект буде покладено в основу розроблюваної системи.

## Висновки до розділу

Аналіз існуючих рішень фіксації руху автомобілів показав, що вони не дозволяють повною мірою фіксувати. Слабким місцем таких систем було виявлено саме датчики завдяки яким і відбувається фіксація руху транспортних засобів. На підставі проведеного пошуку систем фіксації дорожнього руху і патентного пошуку було запропоновано використання чутливих датчиків магнітного поля на основі ефекту Холла. На базі датчиків Холла розроблено метод визначення інтенсивності руху (фіксація напрямку і швидкості руху транспортного засобу), що має змогу фіксувати рух транспортних засобів при багатрядному русі і перелаштуванні автомобілів між смугами руху.

## РОЗДІЛ 2 СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ПРИСТРОЮ

Задачею даного розділу є розробка структурної схеми та формулювання принципів роботи модулю. До основних функцій, які має виконувати розроблюваний прилад:

- вимір збурень магнітного поля (реалізується за рахунок двох датчиків Холла);
- має бути реалізований блок обробки даних, який включає в себе блоки зчитування і обчислення даних;
- необхідно реалізувати блок візуалізації для спрощення сприйняття інформації.

Також важливим етапом реалізації проекту став вибір відлагоджувальної плати на базі якої і була розроблена схема електрична принципова.

Спираючись на розроблену схему електричну принципову буде проведений вибір елементної бази для реалізації проекту у відповідності до ТЗ.

### 2.1 Розробка структурної схеми та принцип роботи модулю

Структурна схема системи моніторингу, в основу якої покладено збір первинної інформації про рух транспортних засобів з використанням ефекту Холла, наведена на рисунку 2.1.

До складу системи входять наступні компоненти та блоки:

- датчик 1, 2 – датчики Холла для зняття первинної інформації;
- блок обробки даних, який складається з блоку зчитування та блоку обчислення. Блок зчитування реалізує зняття інформації з датчиків Холла з визначеним кроком зчитування  $t_s$ . Блок обчислень, реалізовує алгоритм роботи системи, виконуючи необхідні обчислення швидкості руху на підставі інформації, яка надійшла з блоку зчитування;

					ДК52.466453.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

- блок візуалізації реалізує інтерфейс користувача системи з візуалізацією результатів моніторингу.



Рисунок 2.1 - Структурна схема системи моніторингу

Реєструючи профіль зміни збурення магнітного поля в часі над одним датчиком, і знаючи швидкість руху об'єкта -  $V$ , можна визначити довжину об'єкта (2.0):

$$X = V * (t_{end} - t_{start}) , \quad (2.0)$$

де:

- $t_{end}$  - час закінчення збурення;
- $t_{start}$  - час початку збурення.

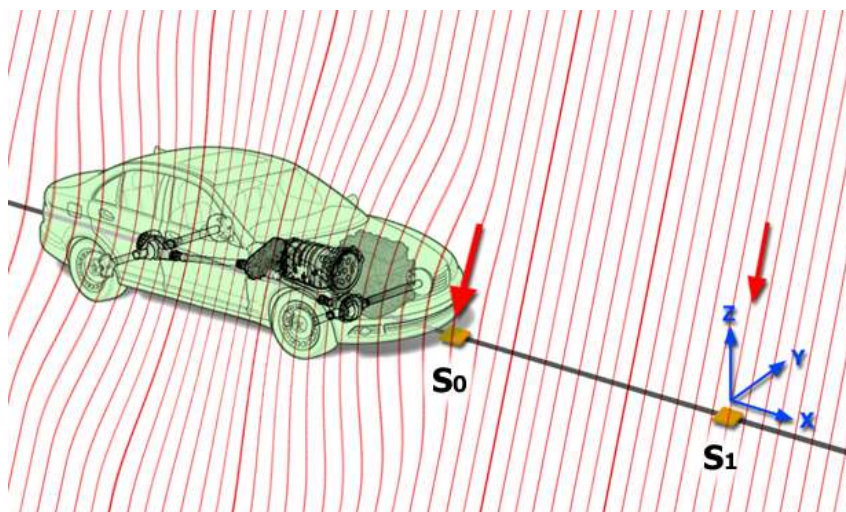


Рисунок 2.2 - Схема вимірювання швидкості транспортного засобу

Для збільшення точності визначення довжини об'єкту, можна використовувати інформацію з обох датчиків та усереднити отримані значення (рисунок 2.2).

Для експериментальної перевірки описаного вище методу збору первинної інформації, у п'ятому розділі буде розроблено дослідний зразок ЗК. Для фіксації змін магнітного поля, пов'язаних з пересуванням транспортного засобу, необхідно обрати пару цифрових магнітних компасів, що працюватимуть на ефекті Холла та матимуть можливість автокалібрування для врахування магнітного відхилення, це буде зроблено у підрозділі 2.3.

## 2.2 Розробка та розрахунок схеми електричної принципової

Першочерговою задачею перед розробкою схеми електричної принципової постав вибір відлагоджувальної плати для проведення проміжних експериментів у ході реалізації проекту. Цей етап є важливим, у зв'язку з тим, що було прийняте рішення розробляти схему електричну принципову саме на базі схеми відлагоджувальної плати. Вибір зупинився на трьох варіантах (таблиця 2.1):

Таблиця 2.1 - Порівняння відлагоджувальних плат

Характеристики Відлагоджувальна плата	Напруга живлення плати	Мікроконтролер	Кількість входів-виходів	Розміри (довжина, ширина и висота)
ARM Cortex-m3	5В	ARM Cortex-M3	GPIO: 26 шт., ШИМ: 12, АЦП: 6.	5,3 x 3,6 x 1,2 см
Arduino PRO Mini	5В	ATmega328	Аналогових входів: 6 шт., Цифрових виходів: 8 шт.	3,3 x 1,8 x 0,6 см
AVR ATMEGA128	5В	Atmega128A	BLS-1: 64 шт., GPIO: 60 шт.	13,5 x 9 x 2 см

Стенд розробника або ж відлагоджувальну плату ВК-AVR128 застосовують в навчальних цілях, в роботі, проводять з її допомогою експерименти, тестують проекти, виконані з мікроконтролерами з сімейства AVR [14]. Відлагоджувальна



плата BK-AVR128 зібрана на мікроконтролері Atmega128A, а корпус у неї - TQFP64. Зроблено вивід всіх пінів мікроконтролера до чотирьох дворядних роз'ємів, оснащеним контактами BLS-1 (з відстанню в 2,54 мм між останніми). Контакти, які виведені в роз'єми, мають нумерацію - їх номери узгоджені з номерами мікроконтролерних виводів.

Arduino PRO Mini ATmega328 5V - недорогий аналог плати Nano [15]. Плата має 14 цифрових входів-виходів, 8 -аналогових входів і 6 цифрових виходів. В конструкції передбачені світлодіоди, що сигналізують про статус плати і подачу живлення, плата програмується тільки через роз'єм USB/COM програматора (SPI/JTAG) або перехідника USB-UART.

Плату ARM Cortex-m3 STM32 зазвичай застосовують, коли потрібно створювати проекти з мікроконтролерами [16]. Плата є гідною і навіть більш якісною альтернативою платформі Arduino, але для використання даної плати необхідно володіти більш високим рівнем початкових знань. Однак для досвідченого розробника ця плата безцінна.

У ході детального вивчення представлених аналогів було вирішено, що серед усіх представлених варіантів відлагоджувальних плат для відлагодження прототипу буде використана плата Arduino PRO Mini ATmega328 5V. Вибір був зроблений враховуючи гарне документальне забезпечення, відсутність великої кількості зайвої для даного дипломного проекту периферії і, що не менш важливо, попередніх навичок роботи з даною платою і її наявності «на руках».

Отже, для реалізації блоку обробки даних використано плату Arduino PRO Mini з процесором ATmega328, який є 8-ми розрядним CMOS мікро-контролером з низьким енергоспоживанням і вбудованим аналогово-цифровим перетворювачем (АЦП) [15].

Основні характеристики Arduino PRO Mini:

- цифрові входи-виходи: 14;
- аналогові входи: 8;
- робоча напруга: 5 В;

					<i>ДК52.466453.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

- рекомендований вхідний напруга: 5-9 В;
- захист від зворотної полярності і перенапруги;
- світлодіоди статусу і живлення на платі;
- підтримка автоскидання.

У подальшому вся робота по створенню власної схеми електричної-принципової буде виконуватись на базі схеми електричної-принципової Arduino PRO Mini взятої із даташита від розробника (рисунок 2.3). Для створення схеми для власного проекту було прийняте рішення позбавитися від усіх «зайвих» входів-виходів, периферії і т.д. В результаті була отримана наступна схема (ДК52.466453.001 ЕЗ), в функціонуванні якої не може бути сумнівів за рахунок мінімального втручання у роботу розробників Arduino PRO Mini.

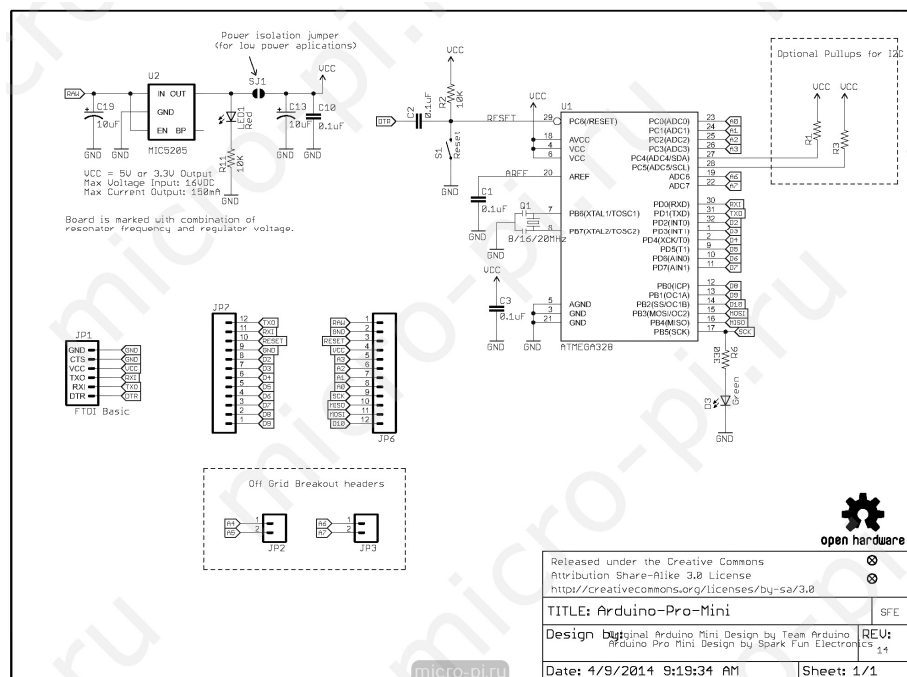


Рисунок 2.3 - Схема електрична-принципова Arduino PRO Mini

Принципова схема запропонованого дослідного зразку зонального контролеру наведена на рисунку 2.4.

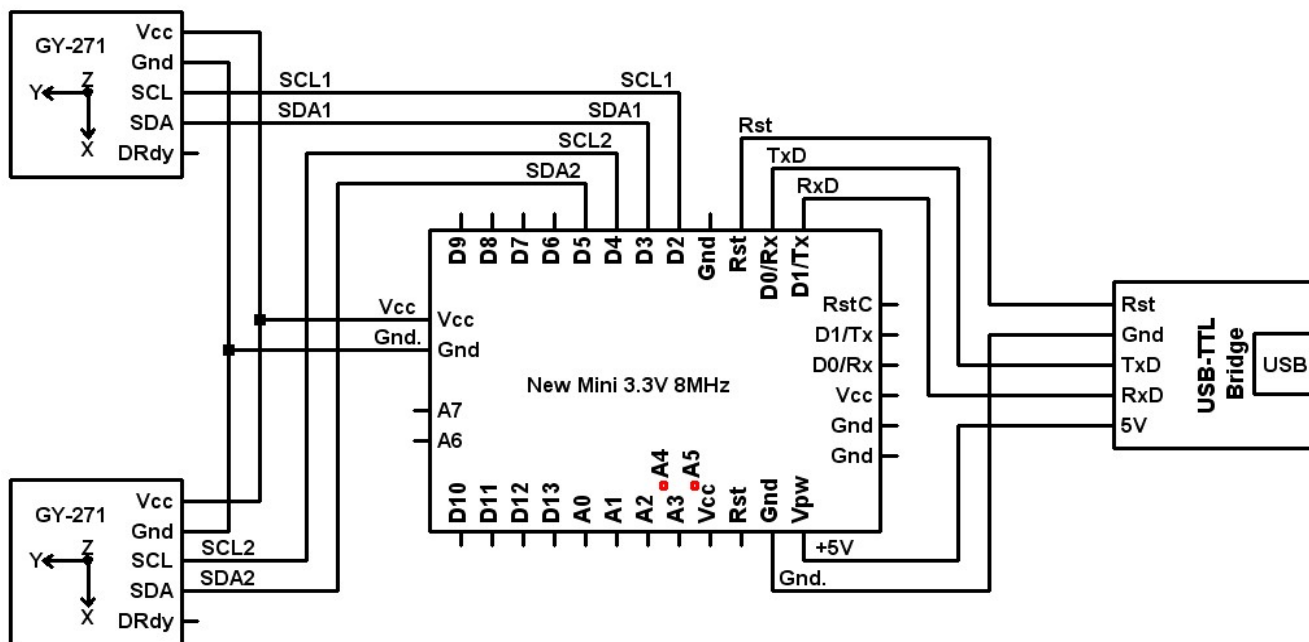


Рисунок 2.4 - Принципова схема зонального контролеру

## 2.3 Вибір елементної бази для реалізації проекту

Вибір елементної бази проводиться на основі схеми електричної принципової з урахуванням викладених у ТЗ умов і вимог, також були враховані номінали вказані у даташиті на Arduino PRO Mini.

### Вибір інтегральної схеми

Для вибору необхідної IC вибрані чотири варіанти реалізації цифрового магнітного компасу (HMC5883L, LSM303DLH, MPU-6000, HMC5983), які повністю аналогічні по своїй функціональності.

Параметри вибраних мікросхем наведені в таблиці 2.2. Вибір IC будемо виконувати згідно методу «Вибору IC по матриці параметрів» [17].

Таблиця 2.2 - Основні параметри ІС, що порівнюються

Серія ІС	Параметри				
	Magnetic Field Range, ΔOe	f <sub>max</sub> , Hz (ODR)	MIN work temperature, °C	MAX work temperature, °C	Price, \$
HMC5983	16	160	-40	125	3,76
HMC5883L	16	220	-40	85	5,06
LSM303DLH	16,2	50	-40	85	3,7
GY-MAG3110	10,4	80	-40	85	4.32
Ваговий коефіцієнт b <sub>j</sub>	0.25	0.30	0.15	0.20	0.10

Виберемо вагові коефіцієнти у відповідності до важливості параметру. Хочеться зазначити, що параметр «MAX work temperature» має більший ваговий коефіцієнт, бо кінцевий прилад планується встановлювати під поверхню асфальту. А в наших регіонах ми маємо більш спекотне літо, і менш холодну зиму. Тому саме запас за максимальною температурою є більш суттєвим для нас.

Складемо матрицю параметрів  $|X|$  згідно таблиці 2.2.

x =	-		-	-	-
	16	160	-40	125	3,76
	16	220	-40	85	5,06
	16,2	50	-40	85	3,7
	10,4	80	-40	85	4.32

Аналізуємо параметри (стовпчики) матриці  $|X|$  та приведемо їх до такого вигляду, щоб більшому значенню параметра відповідало найбільш цікавий для нас параметр ІС. Параметри, що не задовольняють цій умові, перераховуються за формулою 2.1:

$$Y_{ij} = \frac{1}{x_{ij}} \quad (2.1)$$

$i = \overline{1, n}$  – кількість обраних ІС

$j = \overline{1, m}$  – кількість параметрів ІС

Параметри, які більшому значенню не відповідає найкраща якість, відмічені в матриці  $|X|$  “-” .

Тоді матриця приведених параметрів  $|Y|$  має вигляд:

$Y =$

0,063	160	-0,03	0,008	0,266
0,063	220	-0,03	0,0118	0,198
0,062	50	-0,03	0,0118	0,27
0,096	80	-0,03	0,0118	0,231

Далі матрицю  $|Y|$  приведених параметрів приведемо до матриці  $|A|$  - нормованих параметрів.

Нормування параметрів виконуємо за наступною формулою (2.2):

$$a_{ij} = \frac{\max_j u_{ij} - y_{ij}}{\max_j u_{ij}} \quad (2.2)$$

де:

- $\max_j u_{ij}$  – максимальний елемент в стопчику  $|Y|$ ;
- $y_{ij}$  – поточне значення елементу в стопчику  $|Y|$ .

$A =$

0,35	0.2727	0	0,32	0,016
0,35	0	0	0	0,269
0,358	0.3181	0	0	0
0	0.5	0	0	0,144

Для узагальненого аналізу системи параметрів вводять оціночну функцію (2.3):

(2.3)

$$Q_i = \sum_{j=1}^m a_j b_j$$

$b_j$  – ваговий коефіцієнт (2.4)

$$\sum_{j=1}^m b_j = 1 \quad (2.4)$$

$$Q_{\text{HMC5983}} = 0,35*0,25+0,2727*0,3+0*0,15+0,32*0,2+0,016*0,1 = 0.23491$$

$$Q_{\text{HMC5883L}} = 0,35*0,25+0*0,3+0*0,15+0*0,2+0,269*0,1 = 0.1144$$

$$Q_{\text{LSM303DLH}} = 0,358*0,25+0,3181*0,3+0*0,15+0*0,2+0*0,1 = 0.18493$$

$$Q_{\text{GY-MAG3110}} = 0*0,25+0,5*0,3+0*0,15+0*0,2+0,144*0,1 = 0.1644$$

Значення оціночної функції для вибраних ІС наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Значення оціночної функції

Серія ІС	Q
HMC5983	0.23491
HMC5883L	0.1144
LSM303DLH	0.18493
GY-MAG3110	0.1644

Визначивши  $Q_i$  для кожної з порівнюваних серій ІС, виберемо ту серію, яка найбільш задовольняє вимогам, що пред'являються до ЕОА. Меншому значенню  $Q$  відповідає краща серія ІС. З аналізу значення  $Q$  робимо висновок, що оптимальною по розглянутим параметрам є HMC5983.

### Вибір конденсаторів

При виборі конденсатора для конкретного пристрою враховуємо наступні параметри: необхідне значення ємності конденсатора і робочу напругу. За основу беруться конденсатори, що були застосовані при розробці Arduino PRO Mini.

Розглянемо один з конденсаторів - С15, який розташований в схемі живлення і виконує функцію фільтрування завад по живленню. Ємність конденсатора розраховується за формулою (2.5):

$$C = \frac{I_{\text{нагрузки}}}{2\pi f U_{\text{жив}}} \quad (2.5)$$

де:

- $I_{\text{нагрузки}}$  – струм, який проходить, через конденсатор. В нашому випадку припустимо найгірший варіант, струм живлення, який рівний 19,8 (мА);
- $f$  – частота завад, 10 (кГц);
- $U_{\text{жив}}$  – напруга живлення, 5 (В).

$$C = \frac{19 * 10^{-3}}{2\pi * 1000 * 5} = 54 \text{ (нФ)}$$

Найближчий можливий номінал в даному випадку – 50 (нФ).

Вибір інших конденсаторів виконується за аналогічною методикою і їх номінали наведені в переліку елементів (ДК52.466453.001 ПЭЗ) і зведені до таблиці 2.4:

Таблиця 2.4 - Назви обраних конденсаторів

Заявлені параметри	Обраний варіант
50 V 50 nF	C 1206 50B 50нФ 5% X7R KEMET
50 V 100 nF	C 1206 50B 100нФ 5% X7R KEMET
16 V 10 mkF	EEVEB2G100SM 10мкФ SMD 16B 20%

## Вибір резисторів

При виборі типу резистора були враховані наступні параметри: номінальний опір, нормований допуск, розсіювана потужність, робоча температура, тип резистора, максимальна робоча напруга, спосіб монтажу. За основу беруться резистори, що були застосовані при розробці Arduino PRO Mini.

Потрібно розрахувати номінали резисторів які розташовані для регулювання струму, щоб світлодіод не згорів. Розрахунок резисторів R1-R2 за формулою 2.6:

$$R = \frac{V_{dd} - V_{LED}}{I_{LED}}, \quad (2.6)$$

де:

- $V_{dd}$  – вихідна напруга стабілізатора (3.3 В);
- $V_{LED}$  – напруга прямого зміщення світлодіоду (2.2 В, згідно даташиту 1N4148 ON);
- $I_{LED}$  – прямий струм світлодіоду (0,00011 мА, згідно даташиту 1N4148 ON).

$$R = \frac{V_{dd} - V_{LED}}{I_{LED}} = \frac{3.3 - 2.2}{0.00011} = 10,1 \text{ (кОм)}$$

Найближче більше за номіналом значення із стандартного ряду E24 (ГОСТ 28884-90) – 10 кОм.

Виходячи з вимог викладених в ТЗ і схеми електричної принципової, вибрали потрібний тип резисторів. Будемо використовувати резистори SMD типорозміру 0805 1% фірми Yageo. У пристрої використання високоточних резисторів доцільно через те, що після монтажу не хотілося би додатково налагоджувати схему (для цього необхідно точне співпадіння номіналів), то мною були прийняте рішення обрати резистори з найбільшою точністю. Тим паче у моїй схемі використовується всього декілька резисторів, тому навіть враховуючи що зі

					ДК52.466453.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24



збільшенням точності зростає і вартість самих резисторів, це не буде грати для нас суттєвої різниці. Обрані SMD резистори: 0.25Вт 0805 10 кОм, 1%.

Вибір інших резисторів виконується за аналогічною методикою і їх номінали наведені в переліку елементів (ДК52.466453.001 ПЭЗ).

### **Вибір тактової кнопки**

В даній схемі, кнопка використовується тільки в тому випадку коли необхідно скинути налаштування мікроконтролера (а це планується робити дуже рідко). Отже ми можемо обрати мінімальні розміри кнопки. Я обрав SMD кнопку: ТАСТВ-64К-Е. А ще, дана кнопка виконана в металевому корпусі (що потенційно робить її більш довговічною) і має найнижчу вартість серед аналогів.

### **Вибір кварцевого резонатора**

Вибір кварцевого резонатора зводився до пошуку аналогу заявленого в схемі розробника Arduino PRO Mini. Так як схема буде працювати в «важких» температурних умовах, то важливо пам'ятати це при виборі елементної бази. Саме тому я обрав НС 49/US 10 MHz Geyе, як кварцовий резонатор для даної схеми, бо він працює в діапазоні від  $-40^{\circ}\text{C}$   $\sim$   $+125^{\circ}\text{C}$ . І що не менш важливо, коштує він досить не дорого, що позитивно вплине на загальну собівартість схеми.

### **Вибір джампера**

Джампер було вирішено виготовити із штирьової гребінки 2.54 мм (40 пін) PLS-40. Тобто купуючи одну таку гребінку можна виготовити 20 джамперів, що дуже вигідно (ціна однієї гребінки 0,13\$).

### **Вибір магнітного компасу на основі ефекту Холла**

Вибір магнітного компасу є важливим етапом вибору елементної бази. Обраний метод фіксації руху автомобілів базується на ефекті Холла. Було прийняте рішення обирати серед трьохосьових цифрових-магнітних компасів. Це надає змогу фіксувати рух транспортного засобу навіть під час перевлаштування

					<i>ДК52.466453.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

між смугами руху. Важливими параметрами при виборі компасу є: температурний режим, живлення, діапазон вимірювань і точність. Всі основні параметри розглянутих магнітних компасів зведені до таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 - Трьохосьові цифрові-магнітні компаси

Параметри Магнітний компас	Живлення	Температурний режим	Інтерфейс	Діапазон вимірювань	Точність
QMC5883L	3,3-5В	-40 +85 C	I2C	$\pm 1.3 \dots \pm 8$ Гауса	8 миллигаусс
HMC5883L	3,3-5В	-40 +100 C	I2C	$\pm 1.3 \dots \pm 8$ Гауса	2 миллигаусс
HMC5983	3-5В	-40 +85 C	I2C/SPI	$\pm 0.88 \dots \pm 8.1$ Гауса	5 миллигаусс

Роблячи висновки з вище приведеної таблиці можна сказати що компас HMC5883L в найбільшій мірі задовольняє наші вимогу по температурному режиму, діапазону вимірювань і точності.

Характеристики компаса HMC5883L:

- напруга живлення 3.3 - 5 (В);
- тип сенсора: магніторезистивний;
- струм режим виміру: 2.5(мА);
- струм режим сну: 0.1 (мА);
- діапазон вимірювань:  $\pm 8$  (Гаусс);
- точність:  $\pm 2$  (мілі Гаусса);
- інтерфейс: I2C;
- підтримка автоматичного калібрування.

## Висновки до розділу

На підставі основних функцій та поставленого технічного завдання була розроблена структурна схема пристрою. Схема містить в собі структурні зв'язки між магнітними датчиками, блоком зчитування/обчислення даних і блоком візуалізації.

Для проведення проміжних експериментів у ході реалізації даного проекту було проведено аналіз існуючих відлагоджувальних плат. У ході порівняння за основу для подальшої розробки було обрано Arduino Pro Mini. Спираючись на документацію Arduino PRO Mini було розроблено та розраховано схему електричну принципову, що дало змогу приступити до вибору елементної бази для реалізації проекту.

У якості датчиків магнітного поля було обрано трьохосьові датчики магнітного поля які працюють на ефекті Холла. Також було вирішено віддати перевагу SMD компонентам адже вони покращують щільність розміщення на друкованій платі, а також дозволяють робити плати багатошаровими.

					<i>ДК52.466453.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

## РОЗДІЛ 3 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛА

До основних задач розділу конструкторсько-технічне проектування друкованого вузла входить:

- виконання конструкторсько-технологічного розрахунку елементів друкованого монтажу. Визначення мінімальної ширини/довжини провідника, діаметру монтажних отворів, діаметрів контактних площин. Розрахунок мінімальної відстані між: провідником та контактною площиною, двома сусідніми провідниками, двома контактними площинами;
- вибір типу та матеріалу ДП;
- вибір класу точності ДП;
- обґрунтування методу виготовлення ДП;
- розміщення конструкторських елементів (КЕ) в монтажному просторі плати;
- проектування друкованих плат у середовищі Altium Designer;
- електричний розрахунок друкованої плати;
- розрахунок надійності друкованого вузла;
- розрахунок віброміцності друкованого вузла.

### 3.1 Виконання конструкторсько-технологічного розрахунку елементів друкованого монтажу

Розрахунки проведені згідно ГОСТ 23751-86.

**Визначення мінімальної ширини друкованого провідника по постійному струму для ланцюгів живлення та землі**

Розрахуємо мінімальну ширину друкованого провідника ланцюгів живлення і землі за формулою 3.1:

					ДК52.466453.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

$$b_{\min I} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} \cdot t_{\text{пров}}}, \quad (3.1)$$

де:

- $I_{\max}$  – максимально можливий струм в ланцюгу, А;
- $j_{\text{доп}}$  – допустима щільність струму для ДП, яка виготовлена комбінованим позитивним методом,  $j_{\text{доп}} = 48 \left( \frac{\text{А}}{\text{мм}^2} \right)$ ;
- $t_{\text{пров}}$  – товщина друкованого провідника, яка визначається виразом (3.2).

Друкований провідник виготовлюється комбінованим позитивним методом. Згідно методу виготовлення:

$$t_{\text{пров}} = h_{\phi} + h_{\text{ГМ}} + h_{\text{ХМ}}, \quad (3.2)$$

де:

- $h_{\phi}$  – товщина фольги,  $h_{\phi} = 0,035$  (мм);
- $h_{\text{ГМ}}$  – товщина шара гальванічно осадженої міді,  $h_{\text{ГМ}} = 0,055$  (мм);
- $h_{\text{ХМ}}$  – товщина шара хімічно осадженої міді,  $h_{\text{ХМ}} = 0,0065$  (мм).

$$t_{\text{пров}} = 0,035 + 0,055 + 0,0065 = 0,0965 \text{ (мм)}$$

Параметр  $I_{\max}$  в виразі (3.1) визначається як сума струмів, які споживають усі активні елементи схеми. В нашому випадку максимальний струм визначають мікросхеми і він дорівнює 19.8 (мА) (таблиця 3.1). Оскільки вихідні струми є в тисячі разів більшими за власний струм споживання та вхідні струми, то тільки вони розглядаються у розрахунках.

Таблиця 3.1 - Струми, які споживають елементи схеми

	I <sub>вих</sub> для одного виводу, mA	Кількість активних виходів	Кількість мікросхем	Іспож, mA
ATmega328/P	0,2	19	1	3,8
HMC5883L	0,1	10	2	2
LDO-TPS73533	0.5	4	2	4
MIC5205	2.5	4	1	10

У результаті: I<sub>max</sub> = 19.8 (mA)

Отже, мінімальна ширина друкованого провідника на постійному струмі для ланцюгів живлення і землі:

$$b_{minI} = \frac{I_{max}}{j_{доп} \cdot t_{пров}} = \frac{19.8 \cdot 10^{-3}}{4.8 \cdot 0.0965} = 0.043 \text{ (мм)}$$

Найближчим до цього значення є 5-й клас точності із шириною провідника мінімум 0,10 (мм) ( $b_{пр}^r = 0,15 \text{ мм}$ ). Таким чином, оптимальна ширина провідника на постійному струмі для ланцюгів живлення та «землі» дорівнює розрахованому значенню.

### **Визначення мінімальної ширини провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому**

Мінімальна ширина провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому, визначається (3.3):

$$b_{minU} = \frac{p \cdot I_{max} \cdot L_{пров}}{U_{доп} \cdot t_{пров}}, \quad (3.3)$$

де:

- $\rho$  – питомий опір провідника, виготовленого комбінованим позитивним методом,  $\rho = 0,0175 \left( \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \right)$ ;
- $L_{\text{пров}}$  – довжина найдовшого друкованого провідника ДП,  $L_{\text{пров}} = 0,326$  (м);
- $U_{\text{доп}}$  – допустиме падіння напруги на друкованому провіднику,  $U_{\text{доп}} = 0,05 \times E_{\text{п}} = 0,05 \times 5,5 = 0,275$  (В).

$$b_{\min U} = \frac{\rho * I_{\max} * L_{\text{пров}}}{t_{\text{пров}} * U_{\text{доп}}} = \frac{0,0175 * 19,8 * 10^{-3} * 0,653}{0,0965 * 0,275} = 0,0085 \text{ (мм)}$$

Отже мінімальна ширина провідника з урахуванням падіння напруги на ньому 0.0085 (мм).

### Визначення номінального діаметру монтажного отвору

Цю величину візьмемо із креслень на кнопку моделі TL1105RF250Q та PLS-2. Діаметри монтажних отворів рівні 0.7 мм та 0.64 мм відповідно. Діаметри монтажних отворів задовольняють формулі (3.4):

$$d \geq d_{\text{вз}} + \Delta d_{\text{мо}} + r, \quad (3.4)$$

де:

- $d_{\text{вз}}$  – діаметр виводу елементів, для якого визначається діаметр монтажного отвору 0.7мм для TL1105RF250Q і 0.64 мм для PLS-2;
- $\Delta d$  – нижнє граничне відхилення від номінального діаметру МО,  $\Delta d_{\text{мо}} = 0,1$  (мм);
- $r$  – різниця між мінімальним діаметром МО та максимальним діаметром виводу елемента,  $r = 0,1 \dots 0,2$  (мм).

$$d_{\text{TL1105RF250Q}} = 0,7 + 0,2 + 0,1 = 1 \text{ (мм)}$$

$$d_{PLS-2} = 0.64 + 0.2 + 0.1 = 0,94 \text{ (мм)}$$

### Визначення діаметра контактної площини (3.5)

$$D_{min} = D_{min1} + 1,5 \cdot h_{\phi} + 0,03, \quad (3.5)$$

де:

- $D_{min1}$  – мінімальний ефективний діаметр КМ, (3.20);
- $h_{\phi}$  – товщина фольги,  $h_{\phi} = 0,035 \text{ (мм)}$ .

Коефіцієнт  $1,5h_{\phi}$  враховує підтравлювання фольги друкованого провідника у ширину – КМ виготовлюють комбінованим позитивним методом.

$$D_{min1} = 2 \cdot (b_{по} + \frac{d_{max}}{2} + \delta_o + \delta_{км}), \quad (3.6)$$

де:

- $d_{max}$  – максимальний діаметр отвору в ДП, (мм);
- $b_{по}$  - ширина пояски КМ,  $b_{по} = 0,1 \text{ (мм)}$ ;
- $\delta_o$ - похибка розташування центру отвору відносно вузла КС,  $\delta_o = 0,07 \text{ (мм)}$ ;
- $\delta_{км}$ - похибка розташування центру КМ відносно вузла КС,  $\delta_{км} = 0,05$

Максимальний діаметр отвору ДП (3.7):

$$d_{max} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15), \quad (3.7)$$

Отже, для кнопки TL1105RF250Q максимальний діаметр отвору ДП:

$$d_{max} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15) = 1 + 0,05 + 0,1 = 1,15 \text{ (мм)}$$

$$D_{min1} = 2 \left( b_{по} + \frac{d_{max}}{2} + \delta_o + \delta_{км} \right) = 2 \left( 0,1 + \frac{1,15}{2} + 0,07 + 0,05 \right) = 1,59 \text{ (мм)}$$

					ДК52.466453.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32



$$D_{\min}=D_{\min1}+1.5h_{\phi}+0.03=1.59+1.5*0.035+0.03=1.6725 \text{ (мм)}$$

Для PLS-2:

$$d_{\max} = d + \Delta d + (0.1 \dots 0.15) = 0.64 + 0.05 + 0.1 = 0.79 \text{ (мм)}$$

$$D_{\min1} = 2 \left( b_{\text{по}} + \frac{d_{\max}}{2} + \delta_o + \delta_{\text{км}} \right) = 2 \left( 0.1 + \frac{0.79}{2} + 0.07 + 0.05 \right) = 1.23 \text{ (мм)}$$

$$D_{\min}=D_{\min1}+1.5h_{\phi}+0.03=1.23+1.5*0.035+0.03=1.3125 \text{ (мм)}$$

Максимальний діаметр КМ (3.8):

$$D_{\max} = D_{\min} + 0.02, \quad (3.8)$$

Максимальний діаметр отвору для кнопки TL1105RF250Q:

$$D_{\max}=D_{\min}+0.02=1.6725+0.02=1.6925 \text{ (мм)}$$

Максимальний діаметр отвору для PLS-2:

$$D_{\max}=D_{\min}+0.02=1.3125+0.02=1.3325 \text{ (мм)}$$

### Визначення мінімальної ширини провідника (3.9)

$$b_{\min}=b_{\text{пр}}^{\Gamma} + 1,5 \cdot h_{\phi} + 0,03, \quad (3.9)$$

де:  $b_{\text{пр}}^{\Gamma}$ —мінімальна ширина провідника.

Визначаємо з таблиці класів точності. Для 5-го класу точності ДМ  $b_{\text{пр}}^{\Gamma} = 0,1 \text{ (мм)}$ .

					ДК52.466453.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

$$b_{min} = b_{pr}^r + 1.5 * h_{\phi} + 0.03 = 0.1 + 1.5 * 0.035 + 0.03 = 0.1825 \text{ (мм)}$$

Максимальна ширина провідника (3.10):

$$b_{max} = b_{min} + 0.02, \quad (3.10)$$

$$b_{max} = b_{min} + 0.02 = 0.1825 + 0.02 = 0.2025 \text{ (мм)}$$

**Визначення мінімальної відстані між провідником та контактною площиною (3.11)**

$$l_{ПКМ min} = L_0 - \left( \frac{D_{max}}{2} + \delta_{км} + \frac{b_{max}}{2} + \delta_{сп} \right), \quad (3.11)$$

де:

- $L_0$  – відстань між центрами отворів та друкованим провідником, які кратні кроку КС,  $L_0 = 1,15$  (мм) (найгірший випадок);
- $D_{max}$  – максимальний діаметр КП ( $D_{max} = 1.6925$  мм);
- $b_{max}$  – максимальна ширина провідника;
- $\delta_{км}$  – похибка розташування центра КП відносно вузла КС,  $\delta_{км} = 0,05$  (табл.2);
- $\delta_{сп}$  – похибка, яка враховує зміщення провідника,  $\delta_{сп} = 0,05$  (мм).

$$l_{ПКМ min} = L_0 - \left( \frac{D_{max}}{2} + \delta_{км} + \frac{b_{max}}{2} + \delta_{сп} \right) =$$

$$= 1.15 - \left( \frac{1.6925}{2} + 0.05 + \frac{0.2025}{2} + 0.05 \right) = 0.1025 \text{ (мм)}$$

**Визначення мінімальної відстані між двома сусідніми провідниками (між краями провідників) (3.12)**

$$l_{ПП min} = L_0 - (b_{max} + 2 \cdot \delta_{сп}), \quad (3.12)$$

					ДК52.466453.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

$$l_{\text{ПП min}} = L_0 - (b_{\text{max}} + 2 \cdot \delta_{\text{СП}}) = 1.15 - (0.2025 + 2 \cdot 0.05) = 0.8475 \text{ (мм)}$$

### Визначення мінімальної відстані між двох контактних площин (3.13)

$$l_{\text{min КМ КМ}} = L_{01} - (D_{\text{max}} + 2 \cdot \delta_{\text{КМ}}), \quad (3.13)$$

де:  $L_{01}$ - відстань між центрами сусідніх КП,  $L_{01}=2,3$  (мм).

$$l_{\text{min КМ}} = L_{01} - (D_{\text{max}} + 2 \cdot \delta_{\text{КМ}}) = 2.3 - (1.6925 + 2 \cdot 0.05) = 0.5075 \text{ (мм)}.$$

## 3.2 Вибір типу та матеріалу ДП

Друкована плата (ДП) — пластина, виконана з діелектрика (склотекстоліт, текстоліт, гетинакс, ситал тощо), на якій або/і всередині якої сформований хоча б один шар з провідними доріжками. На друковану плату монтуються електронні компоненти, які з'єднуються своїми виводами з елементами провідного рисунка паянням, Друковані плати за конструкцією поділяються на такі класи:

- односторонні (одношарові) – ОДП;
- двосторонні (двошарові) – ДДП;
- багатошарові - БДП.

Згідно ТЗ і схеми електричної принципової вибираємо ДДП для нашого завдання. Вибираємо саме завдяки тому, що схема не має велику складність. Щоб не було більших затрат на виробництво усю конструкцію достатньо розмістити на ДДП.

Правильний вибір матеріалів, технологічних процесів і елементної бази при розробці сучасних друкованих вузлів багато в чому визначає рівень працездатності і надійність електронного пристрою в цілому при раціональних економічних витратах у виробництві.

					ДК52.466453.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Таким чином, для реалізації ДДП обраний сучасний, з високими параметрами матеріал СТЄФ-2. Даний матеріал використовується: «Для деталей електротехнічного призначення для роботи на повітрі при 50Гц в нормальних умовах ( $15 \div 35^{\circ}\text{C}$ , вологість  $45 \div 75\%$ ) та напруги понад 1000В, в тропіках ( $40^{\circ}\text{C}$  і  $95\%$ ) на напруги до 1000В».

Ще хочеться зазначити що СТЄФ-2 має досить високий клас нагрівостійкості ( $155^{\circ}\text{C}$ ). Метод виготовлення друкованої плати – комбінований позитивний, оскільки він забезпечує надійність металізованих отворів та є розповсюдженим і дешевим (у порівнянні з дорогими хімічними та адитивними методами). Товщини плати у 1,5 мм буде достатньою, бо планується покрити кінцевий виріб компаундом ВТЗ-1, оскільки в умовах використання приладу можливі значні вібрації і перепади температури – пристрій буде встановлюватись під площину асфальту. Товщина мідної фольги як основи для друкованих провідників у 35 мкм не матиме негативного впливу на роботу приладу, бо опір друкованих провідників такої товщини несуттєвий порівняно із опором елементів друкованого вузла навіть при нанесенні додаткових шарів міді.

### 3.3 Вибір класу точності ДП

Точність виготовлення ДП залежить від комплексу технологічних параметрів і з практичної точки зору визначає основні параметри елементів ДП. В першу чергу це відноситься до мінімальної ширини провідників, мінімального зазору між елементами провідного малюнка і до ряду інших параметрів.

ГОСТ 23571-86 передбачає п'ять класів точності ПП. Вибір класу точності завжди пов'язаний з конкретним виробництвом. Спроба вирішити цю задачу в зворотному порядку може призвести до того, що проект не буде реалізований.

При конструкторському-технологічному розрахунку необхідно використовувати граничні значення елементів друкованого монтажу з урахуванням похибки їх виконання. Необхідні граничні значення елементів друкованого монтажу і допустимі похибки наведені в таблицях 3.2 і 3.3.

					<i>ДК52.466453.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Таблиця 3.2 - Граничні значення основних параметрів ПМ

Параметер	Позначення	Клас точності			
		2	3	4	5
Ширина друкованого провідника, мм	$b_{прг}$	0,45	0,25	0,15	0,10
Відстань між елементами друкованого монтажу, мм	$lг$	0,45	0,25	0,15	0,10
Гарантований поясок, мм	$b_{по}$	0,20	0,10	0,05	0,03
Відношення номінального діаметру найменшого з металізованих отворів до товщини друкованої плати, мм	$K_{дт}$	0,40	0,33	0,25	0,20

Таблиця 3.3 - Допустимі похибки виконання елементів ПМ

Похибка	Обозначення	Максимальне значення, мм
Зміщення провідників відносно ліній КО	$\delta_{сн}$	0,05
Розташування отворів (всіх) відносно вузлу КО	$\delta_o$	0,07
Розташування КМ відносно вузлу КО	$\delta_{км}$	0.015(0.05)
Фотокопії та фотошаблону	$\delta_{фф}$	0,06
Розташування КМ відносно вузлу КО на фотошаблоні	$\delta_{фш}$	0,05

Згідно ГОСТ 23571-86, виготовлення ДП п'ятого класу точності вимагає застосування унікального високоточного обладнання, спеціальних (як правило, дорогих) матеріалів і навіть створення у виробничих приміщеннях «чистої зони».

Таким вимогам відповідає не кожне виробництво. Однак, ДП невеликого розміру можуть виконуватися по п'ятому класу на обладнанні, що забезпечує виробництво плат четвертого класу.

ДП четвертого класу випускаються на високоточному обладнанні, але вимога до матеріалів, обладнання і виробничих приміщень нижче, ніж для п'ятого класу.

ДП третього класу - найбільш поширені, оскільки, з одного боку, забезпечують досить високу щільність трасування і монтажу, а з іншого - для їх виробництва достатньо звичайного спеціалізованого обладнання.

Випуск ДП другого і третього класів здійснюється на звичайному не спеціалізованому обладнанні. Такі ДП, з невисокими конструктивними параметрами, призначені для недорогих пристроїв з малою щільністю монтажу.

На даний момент ГОСТ 23571-86 слабо актуальний до виробництва ІС. Більшість розробників використовують інший стандарт IPC-A-600. Аналізуючи джерело [18] робиться глобальний висновок, що для сучасних мікросхем та технологій виготовлення ДП більшість класів точності є не актуальними. Для схеми даного дипломного проекту 4 стандарт точності підходить. Крім цього, у ГОСТ 23571-86 говориться: «Для свободного места указанные значения допускается устанавливать по любому более низкому классу, а для первого класса — увеличивать в два раза».

Для даного завдання вибираємо 5-ий клас точності, так як у нашій схемі застосовуються сучасні SMD мікросхеми, котрі мають малий габаритний розмір, а 5-ий клас точності забезпечує достатню щільність трасування і монтажу з урахуванням необхідних габаритів пристрою. Також обраний клас точності дозволяє проводити друковані провідники поміж контактних майданчиків мікросхем з планарними виводами.

					<i>ДК52.466453.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

### 3.4 Обґрунтування методу виготовлення ДП

При виборі необхідного методу виготовлення розглянули наступні методи:

- хімічний субтрактивний метод;
- комбінований позитивний метод;
- метод попарного пресування друкованих плат;
- метод пошарового нарощування;
- метод металізації наскрізних отворів.

Вивчивши переваги, недоліки комбінованого методу і вимоги викладені в ТЗ, будемо використовувати комбінований позитивний метод.

### 3.5 Розміщення конструкторських елементів (КЕ) в монтажному просторі плати

При вирішенні задачі розміщення КЕ завжди наявна схема електрична принципова, яка описана матрицею зв'язків  $A$  та дано дискретний монтажний простір, який описується матрицею відстаней  $D$ . Потрібно на кожне посадкове місце розмістити КЕ, щоб функція якості розміщення була оптимальна.

В якості критеріїв оптимальності використовується ряд критеріїв:

- мінімум сумарної довжини всіх з'єднань, тобто довжини усіх провідників повинні бути мінімальними
- мінімізація кількості найдовших з'єднань
- максимально близьке розміщення КЕ, які мають найбільше число зв'язків між собою
- максимальне число провідників простої конфігурації і т.д.

Спростуємо схему (виключаємо зі схеми прості елементи: резистори, конденсатори, кварцовий резонатор, діод, транзистор, шини землі та живлення; залишаємо лише мікросхеми та роз'єми).

## Створення спрощеної схеми.

Найбільшу кількість зв'язків в друкованому вузлі мають інтегральні мікросхеми та роз'єми, тому, задля пришвидшення подальших розрахунків, варто спростити схему електричну принципову. Це буде досягнуто виключенням з неї дискретних двовивідних компонентів. Також, мікросхеми і роз'єми – найбільші за площею елементи, тож їх розміщення буде визначальним для параметрів кінцевого продукту, на відміну від двовивідних компонентів. Отже, таке спрощення є цілком виправданим.

Результат спрощення оригінальної схеми (рисунок 3.1) показаний на рисунку 3.2. Один з роз'ємів було прибрано, оскільки він належить до ланцюгів живлення. Також він має порівняно невеликі розміри, тож ця маніпуляція критично не впливатиме на подальше розташування елементів.

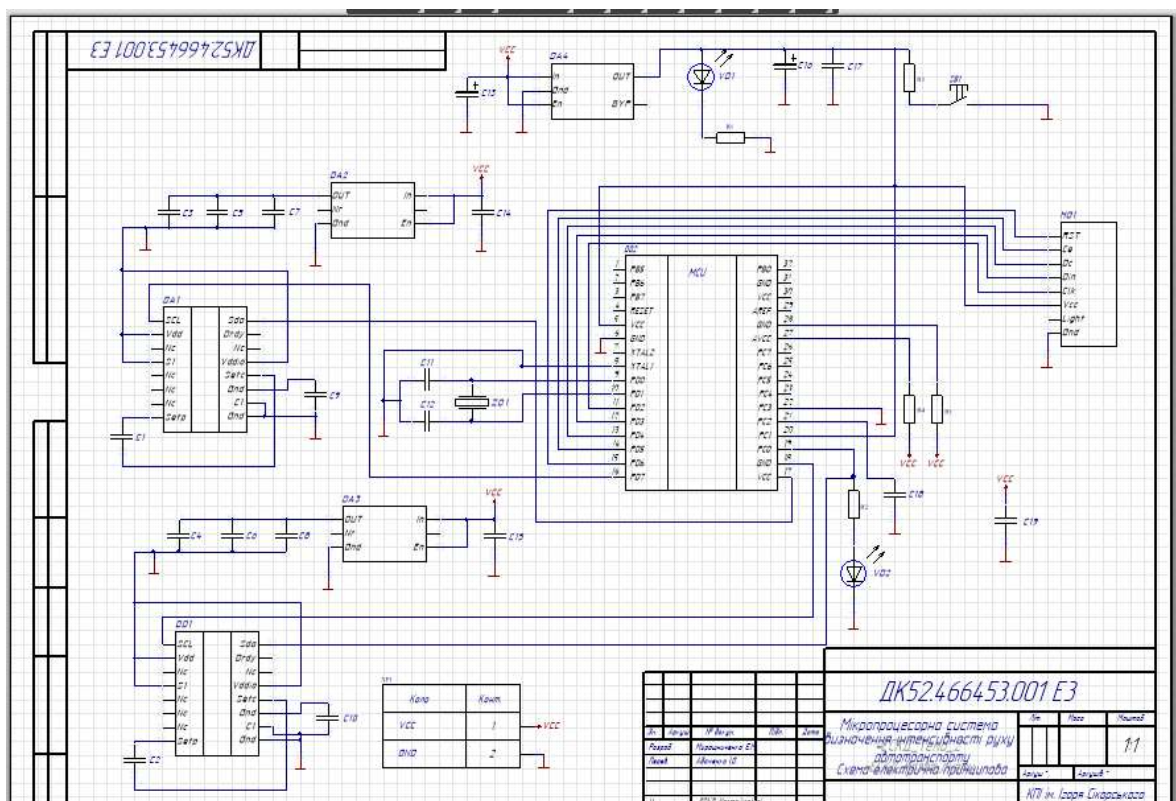


Рисунок 3.1 - Схема до спрощення



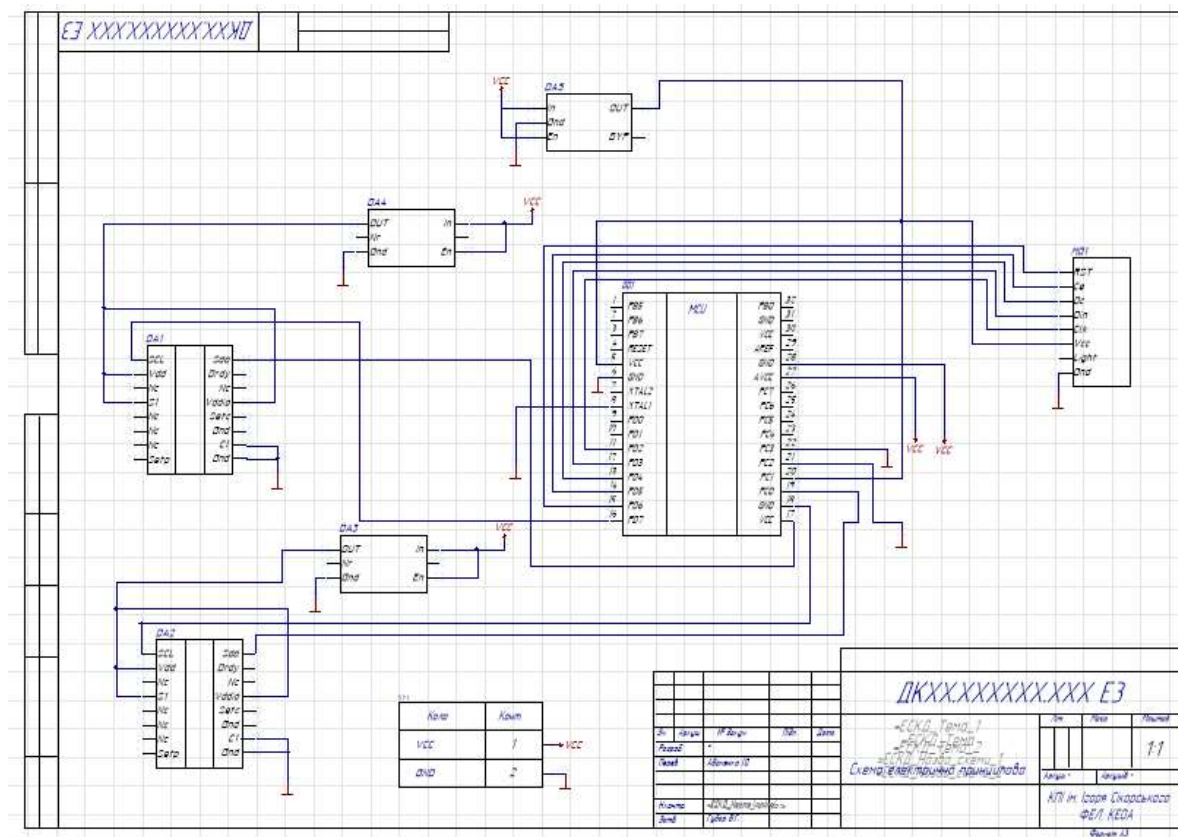


Рисунок 3.2 - Схема після спрощення

### Заповнення посадкових місць

Розроблюваний прилад – малогабаритна мікропроцесорна система визначення інтенсивності руху автотранспорту – ця система не є розповсюджена, бо розробляється мною вперше і я як розробник заздалегідь закладаю ніяких особливостей для заповнення посадкових місць. Тим паче розроблюваний прилад має розташовуватись під землею, отже ніяких вимог до світло або будь-якого іншого роду індикації я висувати не буду. Однак роз'єми розташовую з краю друкованого вузла задля спрощення під'єднання приладу до мережі.

Отже, маємо множину елементів:

$$X = \{XP1, DA1, DA2, DA3, DA4, DA5, DD2, HG1\}$$

та множину посадкових місць:

$$P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8\}.$$

З урахуванням вищезгаданих вимог, розташування посадових місць буде таким, як показано на рисунку 3.3, причому XP1 заздалегідь розташований в P5.

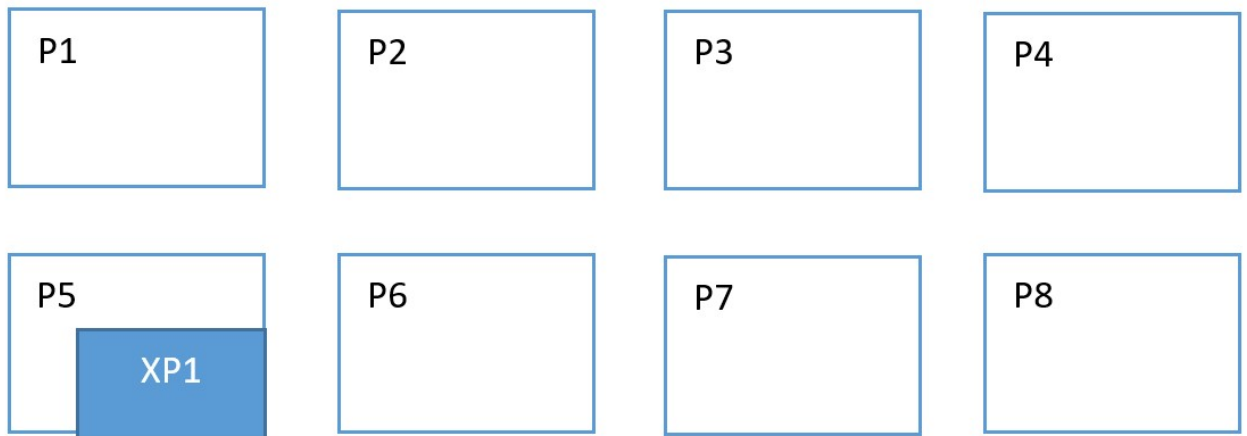


Рисунок 3.3 - Початкове розташування посадкових місць

Для подальшого розміщення елементів за спрощеною схемою була розроблена матриця зв'язків (Таблиця 3.4).

Таблиця 3.4 - Матриця зв'язків

	XP1	DA1	DA2	DA3	DA4	DA5	DD1	HG1	$\rho(x)$
XP1	0	1	1	3	3	3	6	1	18
DA1	1	0	0	0	3	0	2	0	6
DA2	1	0	0	3	0	0	2	0	6
DA3	3	0	3	0	0	0	0	0	6
DA4	3	3	0	0	0	0	0	0	6
DA5	3	0	0	0	0	0	2	1	6
DD1	6	2	2	0	0	2	0	6	18
HG1	1	0	0	0	0	1	6	0	8

Використовуючи таблицю 3.4 за допомогою послідовного алгоритму (на кожному кроці вибирається елемент, що має максимальну зв'язність з вже розташованими елементами та розташовується в одну оптимальну вільну позицію при незмінному положенні раніш розміщених елементів) заповнюємо матрицю так, як це показано на рисунку 3.4.

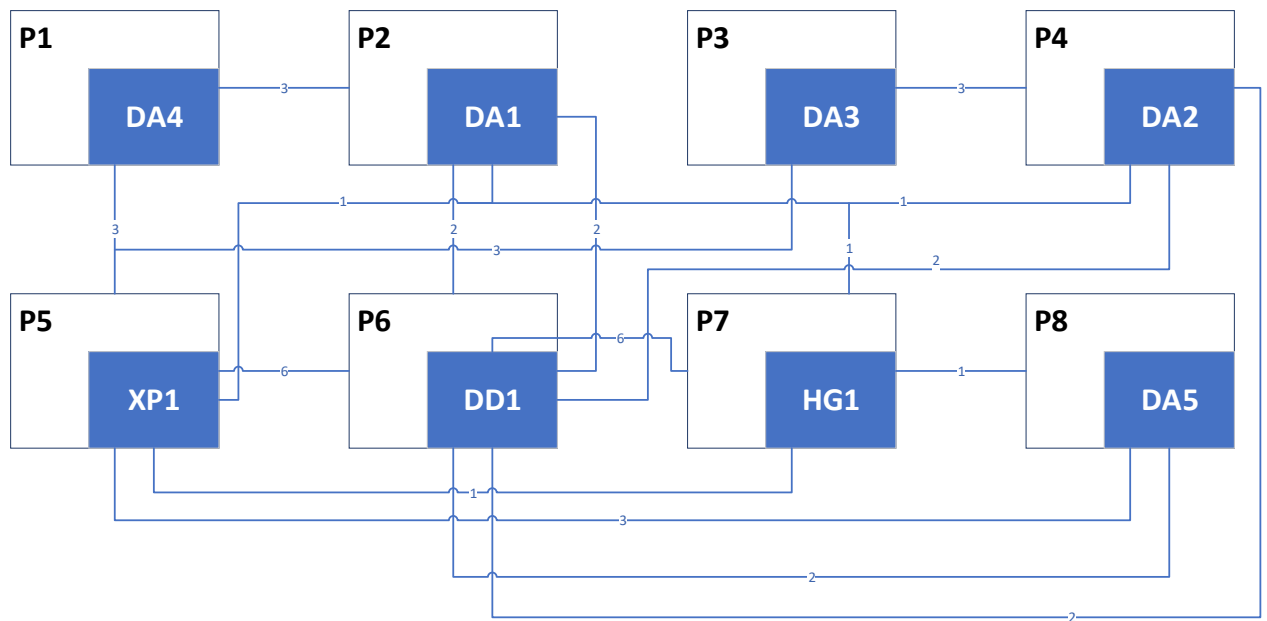


Рисунок 3.4 - Матриця посадкових місць

Отримана матриця посадкових місць буде використанна при розстановці елементів в середовищі Altium Design.

### 3.6 Проектування друкованих плат у середовищі Altium Designer

Altium Designer (AD) — комплексна система автоматизованого проектування (САПР) радіоелектронних засобів (РЕЗ). Дозволяє проектувати друковані плати у тривимірному вигляді, а також обмінюватись інформацією з механічними САП (SolidWorks, Pro/ENGINEER та ін.). Відмінністю програми є проектна структура і наскрізна цілісність ведення розробки на різних рівнях проектування.

Програма AD надає великі можливості для розробки електронних пристроїв. Під час написання дипломної роботи були розглянуті такі можливості програми:

- самостійне створення бібліотеки компонентів (додавання УГП і посадкового місця);
- створення принципової електричної схеми;
- трасування друкованої плати (ручне або автотрасування).

## Редактор схем

Модуль редактора схем дозволяє створювати схеми із складною ієрархічною будовою та проводити аналогове і цифрове моделювання, включає:

- Менеджер бібліотек;
- Редактор схем (розміщення компонента, редагування з'єднань та декларацію правил для редактора PCB);
- SPICE моделювання.

## Створення бібліотеки компонентів

AD має готові бібліотеки компонентів. Але використання даних бібліотек є неоптимальним у зв'язку з рядом недоліків.

Саме тому ми формували УГП і посадкові місця компонентів окремо у редакторі бібліотек (Library Editor). В середовищі AD є чотири типи бібліотек: моделей, символів, баз даних, інтегровані бібліотеки.

## Створення схеми електричної принципової

В кожному редакторі AD є свій набір панелей і інструментів для роботи. Основною панеллю, з якою ведеться робота в редакторі схем є панель Libraries.

Процедура формування схеми насправді проста, і в загальному випадку представляє собою послідовне розміщення і з'єднання на аркуші завчасно створених об'єктів (резисторів, конденсаторів, мікросхем і т.д.).

## Створення розводки друкованої плати

Створення файлу плати може бути виконано вручну, а також за допомогою майстера PCB Board Wizard, котрий по етапам питає інформацію о ДП, котра потім виражається у виді конструктивних параметрів і правил проектування.

В AD задача інтерактивного трасування вирішується інструментом автотрасування, котрий знаходиться в меню AutoRoute. Автоматичне трасування окремих елементів дає не дуже задовільний результат, але дає суттєвий виграш у часі.

					<i>ДК52.466453.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

### 3.7 Електричний розрахунок друкованої плати

Розрахунок виконується за умов, що плата виготовлена комбінованим методом [17], згідно ГОСТ Р 50621-93.

Зі зменшенням геометричних розмірів конструктивних елементів та зі збільшенням щільності їх розташування між сигнальними провідниками виникає ємнісний та індуктивний зв'язок. При перемиканні елементів по сигнальним ланцюгам протікають високочастотні імпульсні струми з крутими фронтами, які внаслідок наявності паразитних зв'язків наводять на сусідніх сигнальних провідниках перешкоди. Останні, при певних умовах викликають помилкове спрацювання дискретних елементів. Необхідно, щоб значення перешкод не перевищували допустимої межі.

Вплив ємності та індуктивності сигнального зв'язку виражається в затримці вмикання схем. Час затримки визначається струмом, опором навантаження та опором сигнального провідника.

#### Визначення падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику

Падіння напруги на друкованому провіднику визначається (3.14):

$$U_{\text{пад}} = \frac{\rho \cdot I_{\text{max}} \cdot l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}}}, \quad (3.14)$$

де:

- $\rho$  - питомий об'ємний опір для комбінованого позитивного методу виготовлення ДП,  $\rho = 0,0175 \left( \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \right)$ ;
- $l_{\text{пр}}$  – максимальна довжина друкованого провідника,  $l_{\text{пр}} = 0,658$  (м);
- $t_{\text{пр}}$  - товщина провідника,  $t_{\text{пр}} = 0,0965$  (мм);
- $I_{\text{max}}$  – максимальний струм у провіднику,  $I_{\text{max}} = 19,8$  (мА).

$$U_{\text{пад}} = \frac{\rho * I_{\text{max}} * l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}} * t_{\text{пр}}} = \frac{0,0175 * 19,8 * 10^{-3} * 0,658}{0,2025 * 0,965} = 1.6 \text{ (мВ)}$$

					ДК52.466453.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Розраховане падіння напруги не перевищує 5% від напруги живлення ( $U_{ж} = 5,5В$ ).

### Визначення потужності втрат двосторонньої друкованої плати (3.15)

$$P_{\text{пот}} = 2\pi f * C * E_n^2 * tg\sigma \quad (3.15)$$

де:

- $f=1$ , тому що розрахунок ведеться на постійному струмі;
- $tg\sigma$  - тангенс кута діелектричних втрат для матеріалу друкованої плати,  $tg\sigma = 0.04$  для матеріалу СТЕФ-2;
- $C$  – ємність друкованої плати.

У моєму випадку, ДП покривається шаром компаунду, то необхідно також враховувати вплив шару компаунду на  $tg\sigma$ . У цьому випадку  $tg\sigma$  потрібно розраховувати за наступною формулою:

$$tg\sigma = \frac{\varepsilon_{\text{компаунду}} * h_{\text{матеріал_дп}} * tg\sigma_{\text{матеріал_дп}} + 2 * \varepsilon_{\text{матеріал_дп}} * h_{\text{шар_компаунду}} * tg\sigma_{\text{компаунду}}}{2 * \varepsilon_{\text{матеріал_дп}} * h_{\text{шар_компаунду}} + \varepsilon_{\text{компаунду}} * h_{\text{матеріал_дп}}}$$

де:

- $h_{\text{шар_компаунду}}$  – товщина одного шару компаунду ( $0,1 * 10^{-4}$  м)

$$tg\sigma = \frac{4,8 * 0.0015 * 0.04 + 2 * 4.5 * 0.00001 * 0.006}{2 * 4.5 * 0.00001 + 4.8 * 0.0015} = 0.0015$$

$$C = \frac{0,009 * \varepsilon * S_m}{h} \quad (3.16)$$

де:

- $\varepsilon$  - діелектрична проникність,  $\varepsilon = 4,5$  для СТЕФ-1.
- $S_m$  – площа металізації, ( $S_m = 588,45\text{мм}^2$ )
- $h$  - товщина друкованої плати, ( $h = 1,5$  мм – в нашому випадку)

$$C = \frac{0,009 * 4,5 * 588,45}{1,5} = 15.88 \text{ (пФ)}$$

$$P_{\text{пот}} = 2 * 3.14 * 1 * 15.88 * 10^{-12} * 5.5^2 * 0.0015 = 4.52 \text{ (пВт)}$$

**Визначення ємності між двома сусідніми провідниками, які розташовуються на одній стороні ДП та мають однакову ширину (3.17)**

$$C = 0,12 \cdot \varepsilon \cdot l_{\text{пр}} \cdot \left[ \lg \frac{2 \cdot S}{b_{\text{пр}} + t_{\text{пр}}} \right]^{-1}, \quad (3.17)$$

де:

- $S$  – відстань між двома паралельними провідниками,  $S=0,254$  (мм);
- $b_{\text{пр}}$  - ширина друкованого провідника,  $0,2025$  (мм);
- $t_{\text{пр}}$  - товщина друкованого провідника,  $0,0965$  (мм);
- $l_{\text{пр}}$  - довжина взаємного перекриття двох паралельних провідників,  $57$  (мм).

Так як я покриваю ДП шаром компаунду, необхідно це врахувати шляхом обчислення  $\varepsilon$  за наступною формулою 3.18:

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_{\text{матеріал}_{\text{дп}}} * \varepsilon_{\text{компаунду}} * (h_{\text{матеріал}_{\text{дп}}} + 2h_{\text{шар}_{\text{компаунду}}})}{h_{\text{матеріал}_{\text{дп}}} * \varepsilon_{\text{компаунду}} + 2h_{\text{шар}_{\text{компаунду}}} * \varepsilon_{\text{матеріал}_{\text{дп}}}} \quad (3.18)$$

$$\varepsilon = \frac{4.5 * 4.8 * (0.0015 + 2 * 0.00001)}{0.0015 * 4.8 + 2 * 0.00001 * 4.5} = 4.5$$

$$C = 0.12 * \varepsilon * l_{\text{пр}} \left( \lg \frac{2S}{b_{\text{пр}} + t_{\text{пр}}} \right)^{-1} = 0.12 * 4.5 * 57 * \left( \lg \frac{2 * 0.254}{0.2025 + 0.0965} \right)^{-1} = 30.78 * (\lg(1.7))^{-1} = 4.34 \text{ (пФ)}$$

					ДК52.466453.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

**Визначення взаємної індуктивності двох паралельних провідників  
однакової довжини (3.19)**

$$M = 0,02 \left( l_{\text{пр}} \lg \frac{\sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2} + l_{\text{пр}}}{L_0} - \sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2} + l_{\text{пр}} \right) \quad (3.19)$$

де:

- $l_{\text{пр}}$  – довжина перекриття паралельних провідників,  $l_{\text{пр}}=5,7$  (см);
- $L_0$  – відстань між осевими лініями двох паралельних провідників,  $L_0=0,041$  (см);

$$\begin{aligned} M &= 0,02 \left( l_{\text{пр}} \lg \frac{\sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2} + l_{\text{пр}}}{L_0} - \sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2} + l_{\text{пр}} \right) = \\ &= 0,02 \left( 5,7 * \lg \frac{\sqrt{32,49+0,001681}+5,7}{0,041} - \sqrt{32,49 + 0,001681} + 0,041 \right) = 2,83 \text{ (нГн)} \end{aligned}$$

Отримане значення падіння напруги на найдовшому провіднику 1,6 (мВ), знаходиться дуже далеко від межі, що дорівнює 5% від напруги живлення. Потужність втрат дорівнює 4,52 (пВт). Це незначна величина. Паразитна ємність (4,34 пФ) та індуктивність (2,83 нГн) не впливають на роботу друкованого вузлу.



### 3.8 Розрахунок надійності друкованого вузла

Найбільш точна кількісна міра надійності кожного конструктивного елемента – його індивідуальне напрацювання до моменту виникнення відмови.

Важлива характеристика надійності - середній час безвідмовної роботи визначається (3.20):

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda}, \quad (3.20)$$

Інтенсивність відмов ЕРЕ є їх вихідною характеристикою надійності, залежить від режиму роботи та ступеню тяжкості таких зовнішніх впливів, як температура, тепловий удар, вологість, вібрації і т.д.

Тоді можна записати наступну формулу (3.21):

$$\lambda_e = \lambda_{oe} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n, \quad (3.21)$$

де  $\lambda_{oe}$  - інтенсивність відмов елемента при нормальних умовах роботи (температура навколишнього середовища  $T_{\text{окр.ср}} = 20 \pm 5^\circ\text{C}$ , відносна вологість  $65 \pm 15\%$ ); коефіцієнт електричного навантаження  $K_n = 1$ ,  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_n$  - поправочні коефіцієнти, що враховують режими роботи та умови експлуатації.

Для врахування впливу режиму роботи на інтенсивність відмов електронно-обчислювальної апаратури вводять коефіцієнт навантаження, що дорівнює відношенню навантаження в робочому режимі до навантаження в номінальному режимі (3.22):

$$K_n = \frac{N_{\text{роб}}}{N_{\text{ном}}}, \quad (3.22)$$

*Коефіцієнт навантаження для резисторів (3.23):*

					ДК52.466453.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

$$K_{H.p} = \frac{P_{роб}}{P_{ном}} = \frac{U_{роб}^2}{R \cdot P_{ном}}, \quad (3.23)$$

$$K_{HR} = \frac{P_{роб}}{P_{ном}} = \frac{5.5^2}{100000 \cdot 0.125} = 0.00242$$

Для конденсаторів (3.24):

$$K_{H.c} = \frac{U_{роб}}{U_{ном}}, \quad (3.24)$$

$$K_{Hc} = \frac{U_{роб}}{U_{ном}} = \frac{5.5}{6.3} = 0.00242$$

Для світлодіодів:

В нашому випадку розраховуватимемо  $K_H$  для світлодіодів KT-SMD0603-G за струмом, оскільки струми, за яких працюють ці елементи, значно ближчі до максимальних значень (~2 до 100 мА), ніж напруги.

$$K_H = \frac{U_{роб}}{U_{ном}} = \frac{78.85}{110} = 0.73$$

Для мікросхем:

Для мікросхем розраховуватимемо  $K_H$  за потужністю. Як найгірший випадок беремо Atmega328:

$$K_H = \frac{U \cdot I}{P_{ном}} = \frac{5.5 \cdot 0.0104}{0.5} = 0.1144$$

Для інших елементів:

Для усіх інших елементів оберемо  $K_H=1$ .

					ДК52.466453.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Визначаємо результуючу інтенсивність відмов друкованого вузлу формувача величини напруги. Друкований вузол відноситься до наземної апаратури, експлуатується при  $T_p = 60^\circ \text{C}$ , інші умови експлуатації нормальні. Вихідні дані для розрахунку  $\lambda_p$  – схема принципова, перелік елементів, часова діаграма та інтенсивність відмов “компонентів надійності” від температурних впливів. По картам робочих режимів визначаємо коефіцієнти навантаження, температурні коефіцієнти ІС та інших ЕРЕ, підраховуємо кількість всіх елементів. Вихідні дані для визначення  $\lambda_p$  зведені до таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 - Вихідні дані для визначення  $\lambda_p$

Компонент	N	$\lambda_{0e} \cdot 10^{-7}, \text{год}^{-1}$	$K_n$	$a_t$	$a_e$	$N\lambda_{0e}K_n a_t a_e \cdot 10^{-7}$
Конденсатор	19	0.5	0.00242	0,4	10	0.09196
Резистор	5	0.02	0.00242	0,15	10	0.000367
Світлодіодів	2	0.025	0.73	0,9	10	0.3285
Кварцовий резонатор	1	0.03	1	0.73	10	0,219
Пристрій індикації	1	0.5	1	0.85	10	4.25
Перемикач	1	1	1	0.45	10	10
ІС	6	0.023	0.1144	1	10	0.1578
Друкована плата	1	1	1	1	10	10
Контакт роз'єму	2	0.2	1	1	10	4
Пайка виводу	149	0.005	1	1	10	7.45
Мет. отвори	35	0,000017	1	1	10	0,00595
Сумарна інтенсивність відмов друкованого вузлу						36.5

В таблиці 3.5:

- $a_e$  – поправочний коефіцієнт на вплив зовнішніх впливів (для переносної апаратури  $a_e = 10$ ),
- $a_t$  – поправочний температурний коефіцієнт.

Показники інтенсивності відмов, що наведені в таблиці, дещо завищені, дозволяє виконати розрахунок для «найгіршого випадку».

Результуюча інтенсивність відмов дорівнює сумі інтенсивності відмов компонентів (3.25):

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi}, \quad (3.25)$$

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi} = 36,5$$

Середній час напрацювання до першої відмови (3.26):

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_p} = \frac{1}{36,5 \cdot 10^{-6}} = 37404 \text{ (год)} \quad (3.26)$$

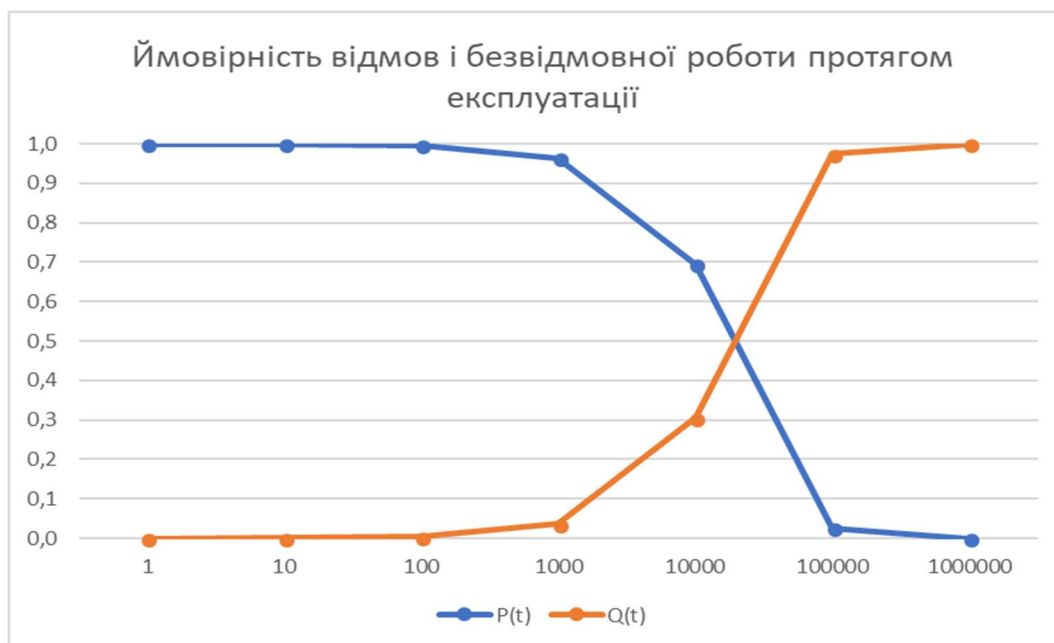
Ймовірність безвідмовної роботи на протязі року (3.27):

$$P = e^{-\lambda_p t} = e^{-36,5 \cdot 10^{-6} \cdot 8760} \approx 0,7264 \quad (3.27)$$

Ймовірність відмов на протязі року:

$$Q(t) = 1 - 0,7294 = 0,2736$$

Графік залежності безвідмовної роботи ДВ та ймовірність відмов ДВ від часу представлені на наступних графіках (рисунку 3.5):



Рисунку 3.5 - Графік залежності безвідмовної роботи ДВ від часу

### 3.9 Розрахунок віброміцності друкованого вузла

Для забезпечення віброміцності друкованої плати необхідно виконання наступних вимог [18]:

- відсутність в конструкції механічних резонансів;
- обмеження амплітуди вібропереміщення значеннями, що виключають небезпечні механічні напруження.

Основні параметри склотекстоліту СТЕФ-2:

- тимчасовий опір  $\sigma_T = 220$  (МПа);
- модуль Юнга  $E = 2,8 \cdot 10^{10}$  (Па);
- коефіцієнт Пуассона  $\mu = 0,3$ ;
- показник затухання  $\varepsilon = 0,04$ ;
- питома вага  $\rho_{\text{СТЕФ-2}} = 1900$  (кг/м<sup>3</sup>);
- питома щільність  $\nu = 2,05 \cdot 10^4$  (Н/м<sup>3</sup>);
- коефіцієнт запасу міцності  $n_1 = 2$ .

Плата пристрою, що проектується, має лінійні розміри  $a$  (мм)  $\times$   $b$  (мм)  $\times$   $h$  (мм) = 100 х 65 х 1,5. Маса друкованої плати розраховуватиметься за формулою (3.28):

$$m_{\text{ДП}} = \rho * V = \rho_{\text{СТЕФ-2}} * (a * b * h), \quad (3.28)$$

де:  $\rho_{\text{СТЕФ-2}} = 1,9$  (г/см<sup>3</sup>) – густина склотекстоліту СТЕФ-2, враховуючи друковані провідники.

$$m_{\text{ДП}} = 1,9 * 10 * 6,5 * 0,15 = 18,5 \text{ (г)}$$

Розрахунок маси елементів зведено до таблиці 3.6.


Таблиця 3.6 - Маса елементів друкованої плати

Елемент	Позначення	К-ть	Маса, г	Загальна маса,г
Конденсатори	C1206 50B 50нФ 5% X7R	6	0,02	0,12
	C1206 50B 100нФ 5% X7R	13	0,02	0,26
Мікросхеми	HMC5883L	2	0,181	0,362
	LDO-TPS73533	2	0,143	0,286
	MIC5205	1	0,081	0,081
	ATmega328/P	1	1	1
Резистори	R-0805 0.25 Вт 10 кОм 1%	5	0,02	0,1
Роз'єми	PLS-2	1	3	3
Діоди	1N4148 ON	2	0,008	0,016
Кварцевий резонатор	HC49/US 10 MHz	1	4	4
Пристрої індикації	LCD-10168	1	21	22
Перемикач	TL1105RF250Q	1	1	3
Загальна маса елементів, г				34,3≈34,5

Вага елементів на платі 34,5 (г). Візьмемо вагу елементів з деяким запасом, так, що вона складатиме 35 (г).

Варіанти закріплення друкованих плат наведені в таблиці 3.7:

Таблиця 3.7 - Варіант закріплення друкованої плати

<i>Кількість сторін спирання:</i>	<i>Фор-ла розрахунку для N сторін спирання:</i>
<p>Спирання на 3 сторони</p> 	$\alpha = \pi^2 \cdot \sqrt{1 + 0,43 \cdot \frac{a^2}{b^2}}$

Обраний тип закріплення – спирання на 3 сторони.

Власна частота коливань друкованої плати  $f_{\text{влас}}$  визначається за формулою (3.29):

$$f_{\text{влас}} = \frac{K_B \cdot \alpha}{2 \cdot \pi \cdot a^2} \cdot \sqrt{\frac{D \cdot g}{\nu \cdot h}} \quad (3.29)$$

Визначення коефіцієнту  $K_B$  здійснюється за формулою (3.30):

$$K_B = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m_E}{m_{\text{дп}}}}} \quad (3.30)$$

$$K_B = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{34,5}{18,5}}} = 0,59$$

Коефіцієнт  $\alpha$ , враховуючи вибраний тип закріплення буде обчислюватися за формулою (3.31):

$$\alpha = \pi^2 * \sqrt{1 + 0,43 + \frac{a^2}{b^2}} \quad (3.31)$$

$$\alpha = 9,86 * \sqrt{1 + 0,43 + \frac{0,1^2}{0,065^2}} = 19,21$$

Визначення циліндричної жорсткості  $D$  (3.32):

$$D = \frac{E * h^3}{12 * (1 - \mu^2)} \quad (3.32)$$

$$D = \frac{2,8 * 10^{10} * 0,0015^3}{12 * (1 - 0,3^2)} = 8,65 \text{ (Н·м)}$$

Власна частота коливань друкованої плати  $f_{\text{влас}}$ :

$$f_{\text{влас}} = \frac{K_{\text{в}} * \alpha}{2 * \pi * a^2} * \sqrt{\frac{D * g}{v * h}} =$$

$$= \frac{0,59 * 19,21}{2 * 3,14 * 0,1^2} * \sqrt{\frac{8,65 * 9,81}{2,05 * 10^4 * 0,0015}} = 299,8 \approx 300 \text{ (Гц)}$$

Якщо  $f_c > 250$  (Гц), то конструкція абсолютно жорстка [18].

Розрахуємо для перевірки амплітуду вібрацій на власній частоті, або динамічний прогин. Коефіцієнт перенавантаження  $n = 8$ .

Амплітуда вібрацій на власній частоті обчислюється за формулою (3.33):

$$A = \frac{0,25 * n}{f_{\text{влас}}^2} \quad (3.33)$$

$$A = \frac{0,25 * 8}{300^2} \approx 0,00002 \text{ (мм)}$$



Визначення коефіцієнту динамічності  $K_d$  (в скільки разів амплітуда на вимушених коливаннях відрізняється від амплітуди на власній частоті коливань) (3.34):

$$K_d = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{f}{f_{\text{влас}}}\right)^2\right]^2 + \left(\frac{f \cdot \varepsilon}{f_{\text{влас}}}\right)^2}}, \quad (3.34)$$

де;

- $f$  – частота вимушених коливань;
- $\varepsilon$  – показник затухання.

Візьмемо частоту вимушених коливань рівною 10 (Гц) (низькочастотні коливання мають більшу імовірність появи і є найбільш енергетичними) коефіцієнт динамічності  $K_d$  матиме значення:

$$K_d = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{10}{300}\right)^2\right]^2 + \left(\frac{10 \cdot 0,04}{300}\right)^2}} = 1,001$$

Визначення динамічного прогину  $W$  (3.35):

$$W = K_d \cdot A \quad (3.35)$$

$$W = 1,001 \cdot 0,00002 \approx 0,00002 \text{ (мм)}$$

Порівняємо  $W$  з товщиною плати ( $h$ ). Динамічний прогин не перевищує  $\frac{1}{5} h$  ( $0,00002 \text{ мм} < 0,3 \text{ мм}$ ).

Рівномірно розподілене динамічне навантаження  $P_d$  (3.36):

$$P_d = \frac{W \cdot D}{c_1 \cdot b^4} \quad (3.36)$$

Коефіцієнт  $c_1$  розраховується за формулою (3.37):

$$c_1 = 0,00406 + 0,018 \cdot \lg\left(\frac{a}{b}\right) = 0,00406 + 0,018 \cdot \lg\left(\frac{110}{90}\right) \approx 0,0056$$

$$c_1 = 0,00406 + 0,018 \cdot \lg \frac{100}{65} \approx 0,007$$

$$P_d = \frac{0,00002 \cdot 8,65}{0,007 \cdot 0,065^4} \approx 1384 \text{ (Н/м}^2\text{)}$$

Визначаємо максимальний розподілений прогибний момент (3.38):

$$M_{\max} = c_2 * P_d * b^2 \quad (3.38)$$

Коефіцієнт  $c_2$  розраховується за наступною формулою (3.39):

$$c_2 = 0,0479 + 0,018 * \lg\left(\frac{a}{b}\right) \quad (3.39)$$

$$c_2 = 0,0479 + 0,018 * \lg \frac{100}{65} \approx 0,008$$

$$M_{\max} = 0,008 * 1684 * 0,065^2 = 0,06 \text{ (Н)}$$

Допустиме напруження для матеріалу друкованої плати (3.40):

$$\sigma_{\text{доп}} = \frac{\sigma_t}{n_1}, \quad (3.40)$$

де  $n_1$  – коефіцієнт запасу міцності.

$$\sigma_{\text{доп}} = \frac{220}{2} = 110 \text{ (МПа)}$$

					ДК52.466453.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Для виконання умови вібростійкості необхідно, щоб  $\sigma_{\max} \ll \sigma_{\text{доп}}$ ,  
де  $\sigma_{\max}$  (3.41):

$$\sigma_{\max} = \frac{6 \cdot M_{\max}}{h^2} \quad (3.41)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{6 \cdot 0,06}{0,0015^2} \approx 1,6 \text{ (МПа)} \ll 110 \text{ (МПа)}$$

Отже, умови вібростійкості для діапазону частот вимушених коливань від 1 (Гц) до 1 (кГц) для плати задовольняються, додаткових заходів із підвищення вібростійкості не потребується.

## Висновки до розділу

Виконання конструкторсько-технологічного розрахунку елементів друкованого монтажу дало необхідні значення: мінімальну ширину/довжину провідника, діаметр монтажних отворів, діаметр контактних площин, мінімальної відстані між провідником та контактною площиною, двома сусідніми провідниками, двома контактними площинами.

Було обрано матеріал для друкованої плати - СТЄФ-2. Також був обраний 3-й клас точності друкованого монтажу. Матеріал СТЄФ-2 є досить розповсюдженим, а 3-й клас точності не потребує дорогого спеціалізованого обладнання для обробки. Розрахунки, приведені в цьому розділі, обґрунтовують доцільність обраних параметрів.

Отримана матриця посадкових місць була використана при розстановці елементів в середовищі Altium Design.

Електричний розрахунок ДП дав нам наступні параметри:

- падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику –  $U_{\text{пад}}=1.6$  (мВ);
- потужність втрат двосторонньої друкованої плати –  $P_{\text{пот}}=4.52$  (пВт);
- ємність між двома сусідніми провідниками, які розташовуються на одній

стороні ДП та мають однакову ширину –  $C=4.34$  (пФ);

- взаємна індуктивності двох паралельних провідників однакової довжини –  $M=2.83$  (нГн).

Було розраховано напрацювання на відмову для розроблюваного приладу. Отриманий результат ( $\sim 40000$  год) вказує на високу надійність розроблюваного приладу. В схемі не передбачене резервування, оскільки прилад і без нього задовольняє умовам технічного завдання, а саме -  $30000$  (год).

Умови віброміцності для діапазону частот вимушених коливань від  $1$  (Гц) до  $1$  (кГц) для плати задовольняються. Власна частота плати  $f_{\text{влас}} = 300$  (Гц), тобто можна зробити висновок, що конструкція абсолютно жорстка. Додаткових заходів із підвищення віброміцності не потребується.

					<i>ДК52.466453.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

## РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМУВАННЯ ПРИСТРОЮ

В даному розділі необхідно вирішити два питання: створення програмного забезпечення для візуальної складової проекту та програмного забезпечення мікроконтролера.

Візуальна складова має відповідати наступним вимогам:

- надавати можливість запису у файл;
- графічно відображати виміри магнітних датчиків;
- відображати швидкість і напрям руху об'єкту.

Програмне забезпечення мікроконтролера має:

- проводити вимірювання магнітного поля по трьох координатах кожного з сенсорів;
- ініціалізувати початкові значення для процедури усереднення;
- обчислювати на основі збурень магнітного поля напрям і швидкість руху об'єкту.

### 4.1 Програмне забезпечення для візуалізації

Для візуалізації проекту було прийнято рішення використовувати LabVIEW в зв'язку з широким спектром функцій які пропонує даний додаток.

**LabVIEW** (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) - це візуальна мова програмування, розроблена компанією National Instruments. Найбільше застосування LabVIEW знайшов в сферах отримання даних з вимірювальних приладів управління, промислової автоматизації. Саме це середовище дуже зручно використовувати як «кишенькову лабораторію». Бо вона дає можливість побудувати будь-яку вимірювальну техніку у зручний об'єктно орієнтовний спосіб. І дозволяє не тільки зчитувати дані і виконувати розрахунки, а й одночасно виконувати візуалізацію отриманих результатів!

Розташовуємо і підписуємо елементи на лицьовій панелі як показано на рисунок 4.1.

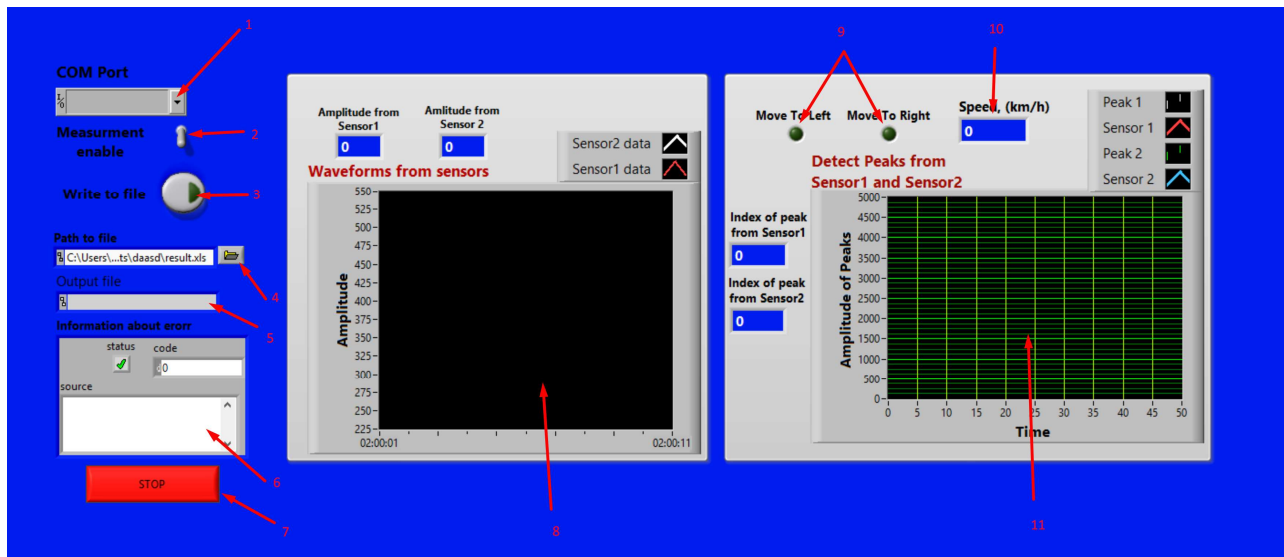


Рисунок 4.1 - Лицьова панель вимірювального приладу

Надамо пояснення елементів представлених на лицьовій панелі:

- 1) вибір COM порта до якого підключена Arduino з нашими датчиками;
- 2) ввімкнення/вимикання вимірювання швидкості;
- 3) активація запису у файл;
- 4) шлях до файлу;
- 5) файл у який відбудеться запис отриманих даних;
- 6) інформація про можливі помилки;
- 7) кнопка «STOP», що зупиняє перебіг програми;
- 8) графічне відображення виміру магнітного поля від обох датчиків;
- 9) індикатори, що показують напрямок руху об'єкту;
- 10) швидкість руху об'єкту;
- 11) графічне відображення піків збурення магнітного поля.

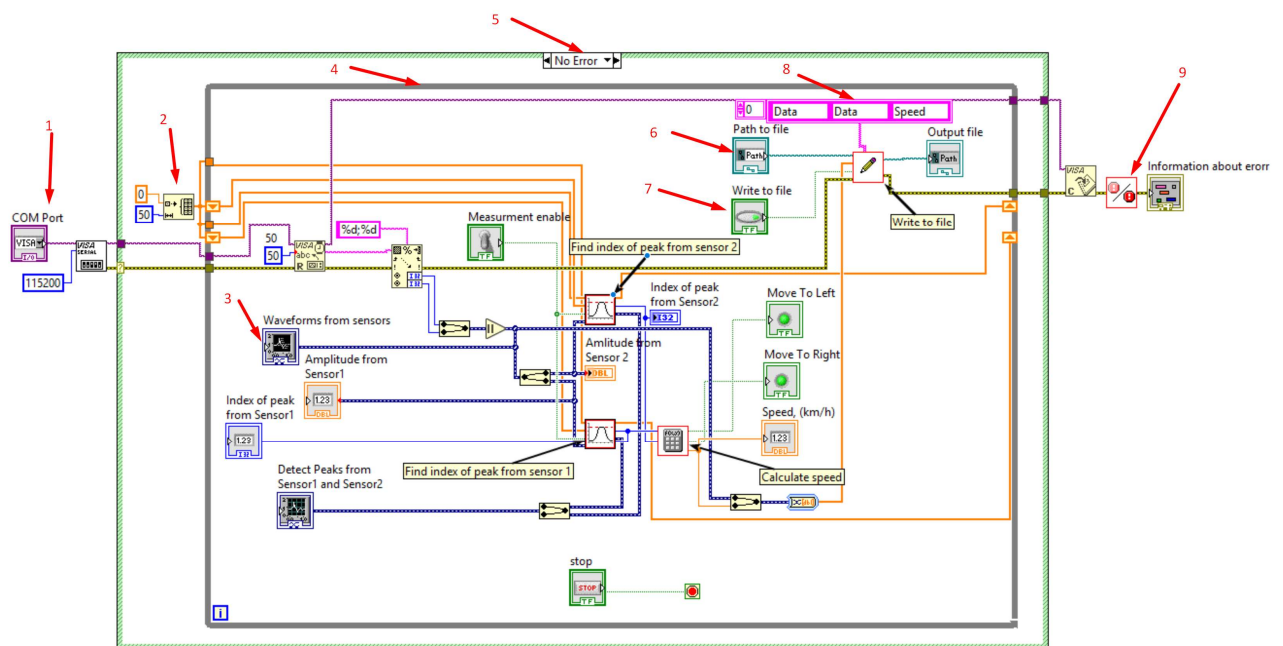


Рисунок 4.2 - Блок-діаграма вимірювального приладу

Надамо пояснення елементів представлених на блок-діаграмі вимірювального приладу (рисунок 4.2):

- 1) вибір COM порта до якого підключена Arduino з нашими датчиками;
- 2) ініціалізація масиву нулями;
- 3) графічне відображення даних що надходить із датчиків;
- 4) цикл «WHILE»;
- 5) «Case structure» - містить декілька випадків. Один з яких підключення Arduino і проведення вимірів. Другий випадок – вивід помилки, що Arduino не підключена;
- 6) шлях до файлу;
- 7) запис у файл;
- 8) створення «шапки» підпису стовбців для виводу в Excel;
- 9) «Error handler» - обробник помилок.

Прилад готовий, тепер необхідно підключити датчики через Arduino Uno до USB роз'єму комп'ютера (рисунок 2.4).

Відкриваємо лицьову панель у LabVIEW, вибираємо необхідний COM Port (його можна визначити відкривши список пристроїв підключених до комп'ютера

Мой компьютер>Управление>Диспетчер устройств>Порты) клацнувши по елементу COM Port. Натискаємо кнопку Run (чорна стрілка зліва зверху). І дивимося на покази приладу. Щоб завершити роботу приладу натискаємо кнопку Stop.

## 4.2 Програмне забезпечення для мікроконтролера

Для передачі даних для подальшої обробки на ПК була розроблена програма для мікропроцесорної плати. Детальний текст програми мікропроцесора для передачі даних на ПК мовою C для Arduino наведено у Додатку Б.

Програма за допомогою програмної оболонки Arduino завантажується в пам'ять мікроконтролера. На рисунку 4.3 наведено приклад вікна оболонки Arduino з програмою передачі результатів реєстрації магнітних збурень на ПК.

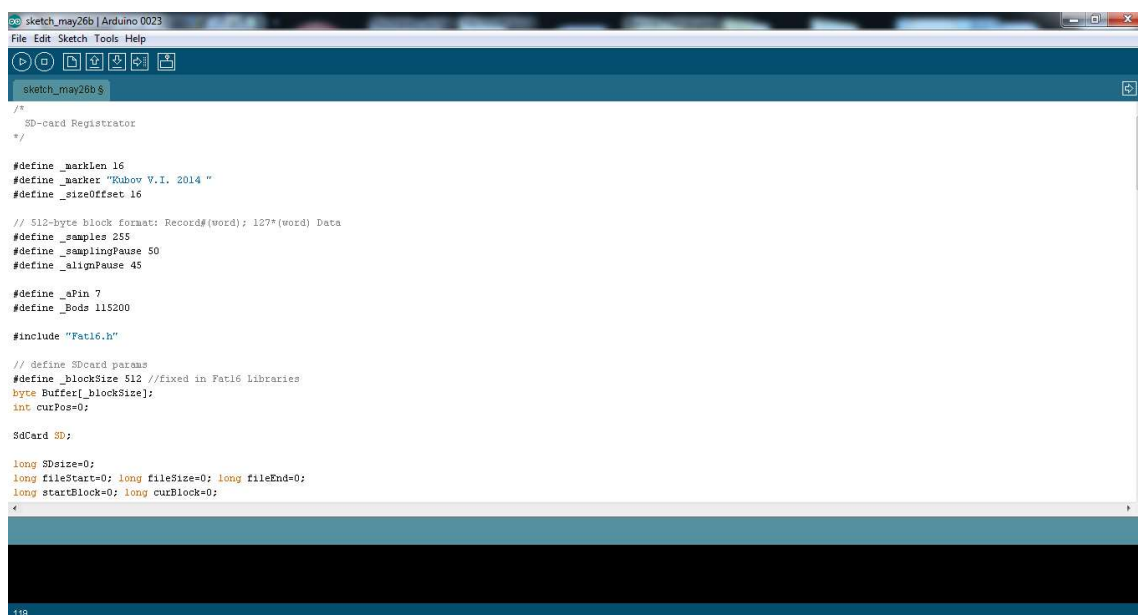


Рисунок 4.3 - Приклад вікна оболонки Arduino з програмою передачі результатів реєстрації магнітних збурень на ПК

Програма призначена для вимірювання обурення магнітного поля викликаного переміщенням об'єкта з феромагнітними елементами (автомобіля зі сталевими і залізними деталями) над сенсорами магнітного поля (формула 1.1).



Знаючи довжину і профіль обурення, і маючи бібліотеку образів профілів для різних типів об'єктів, можна ідентифікувати (розпізнати) тип об'єкта (автомобіля).

В якості сенсорів магнітного поля використовується пара цифрових магнітних трьох-координатних компасів HMC5883L з інтерфейсом I2C.

Як процесор обробки сигналів використовується плата Arduino Mini з процесором ATmega328.

Програма працює наступним чином:

- ініціалізується цифровий інтерфейс для двох сенсорів;
- ініціалізується кожен з сенсорів на конкретний режим вимірювання (чутливість, частота опитування, спосіб усереднення);
- проводиться вимірювання магнітного поля по трьох координатах кожного з сенсорів для подальшого виключення постійної (незмінної) складової магнітного поля;
- ініціалізувалися початкові значення для процедури усереднення і виключення постійної складової магнітного поля.

Далі в нескінченному циклі виконується послідовність наступних операцій:

- вимірюється магнітне поле з даних отриманих з двох сенсорів;
- для кожного сенсора по кожній координаті обчислюється відхилення від поточного середнього значення;
- обчислюється абсолютна величина (модуль) відхилення по кожній координаті для обох сенсорів;
- серед відхилень по трьох координатах X, Y, Z обчислюється максимум для кожного сенсора. Цей максимум характеризує величину збурення для даного сенсора.

Величина виміряного обурення по кожному сенсору передається для подальшої обробки.

Процедура обчислення середнього і відхилення від нього використовує наступну рекурентной схему (4.1):

					<i>ДК52.466453.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

$$\overline{X}_i = \overline{X}_{i-1} \cdot (1 - 1/N) + x_i / N \quad \text{ - поточне середнє значення} \quad (4.1)$$

де:

- $N$  - довжина інтервалу усереднення;
- $x_i$  - поточне значення вимірюваної величини;
- $\Delta x_i = x_i - \overline{X}_i$  - відхилення від середнього значення.

В якості вихідного значення для середнього значення береться початкове значення вимірюваної величини -  $\overline{X}_0 = x_0$ .

При чисельній реалізації алгоритму, для виключення операцій множення і ділення, що вимагають великого завантаження процесора, зручніше перейти до модифікованої схеми (4.2):

$$\overline{X}_i' = \overline{X}_i \cdot N \quad (4.2)$$

де:

- $\overline{X}_i = \overline{X}_i' / N$  - істинне середнє;
- $\overline{X}_i' = \overline{X}_{i-1}' - \overline{X}_{i-1} + x_i$  - модифіковане середнє.

Легко бачити, що це вихідне рівняння для середнього помножене на  $N$  (4.3):

$$\overline{X}_i \cdot N = (\overline{X}_{i-1} \cdot (1 - 1/N) + x_i / N) \cdot N = \overline{X}_{i-1} \cdot N - \overline{X}_{i-1} + x_i \quad (4.3)$$

Крім того, якщо в якості  $N$  вибрати число кратне ступеня 2, тобто  $N = 2^P$ , То операції множення і ділення на  $N$  можна замінити на операції зсуву двійкових розрядів. Розподіл - зрушення вліво  $X \gg P$ , множення - зрушення вправо  $X \ll P$ . Цей алгоритм усереднення і реалізований в програмі.

Результати вимірювань обробляються на ПК за допомогою програми Excel.

					ДК52.466453.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

## Висновки до розділу

В ході виконня даного розділу створено вимірювальний прилад у середовищі LabVIEW з використанням датчиків Холла і платформи Arduino Uno. Під час виконання роботи, досліджено залежність збурення магнітного поля від впливу феромагнітного елементу у середовищі LabVIEW, залежність була відображена графічно. Характеристика, яка була отримана, є більш менш лінійною, так як зміна поля відбувається на певну величину і тримається в цьому положенні, отже зміна є кінченою. Вона достатньо інформативна та показує принцип перетворення фізичних величин у об'єкті даного дослідження.

Було створенно програмне забезпечення для мікроконтролера яке:

- ініціалізує цифровий інтерфейс для двох сенсорів;
- проводить вимірювання магнітного поля по трьох координатах кожного з сенсорів;
- по отриманим даним відбувається розрахунок швидкості і напрямку руху феромагнітного об'єкту.

					<i>ДК52.466453.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

## РОЗДІЛ 5 НАЛАГОДЖЕННЯ І ТЕСТУВАННЯ АПАРАТНО ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ

Задачею розділу по відлагодженню роботи апаратно програмного комплексу є інтеграція попередніх розділів по схемотехнічному проектуванню пристрою і безпосередньому візуальному та апаратному програмуванню.

В першу чергу мікропроцесорна система була зібрана воєдино, тобто датчики Холла були під'єднані до відлагоджувальної плати. Після цього на Arduino був завантажений сектч програми і проведена його компіляція. Після вдалої компіляції апаратно програмний комплекс, через USB місток, був під'єднаний до програмного забезпечення LabVIEW. Після відповідних налаштувань була виконана серія експериментів із записом їх результатів у файл для подальшої обробки.

Отримані результати експерементів підтвердили працездатність схеми, так як отримані графіки відповідають графікам отриманим на осцилографі віртуальної лабораторії LabVIEW.

### 5.1 Налагодження апаратно-програмного комплексу

За основу було взято трьохосьовий магнітний компас, тобто він може виконувати виміри одночасно по трьох осях (X, Y, Z). Для відлагодження роботи зонального контролеру був зібраний прототип рисунок 5.1.

Після завантаження скетчу на мікроконтролер через Arduino IDE було виконано серію тестів. В ході експерименту викрутка переміщується над датчиками в одному напрямку руху.

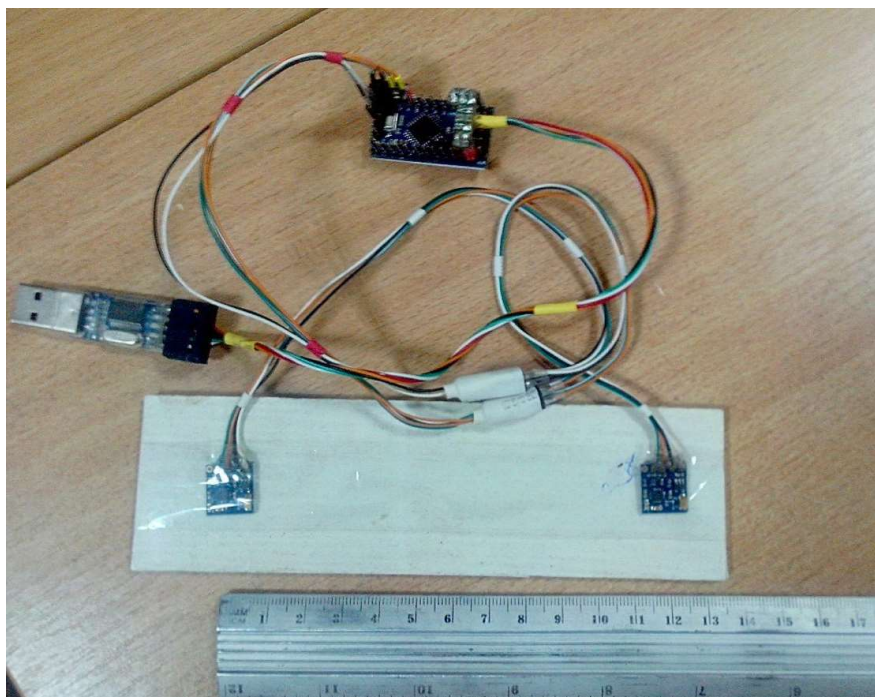


Рисунок 5.1 - Мікропроцесорна плата і під'єднанні до неї магнітні датчики

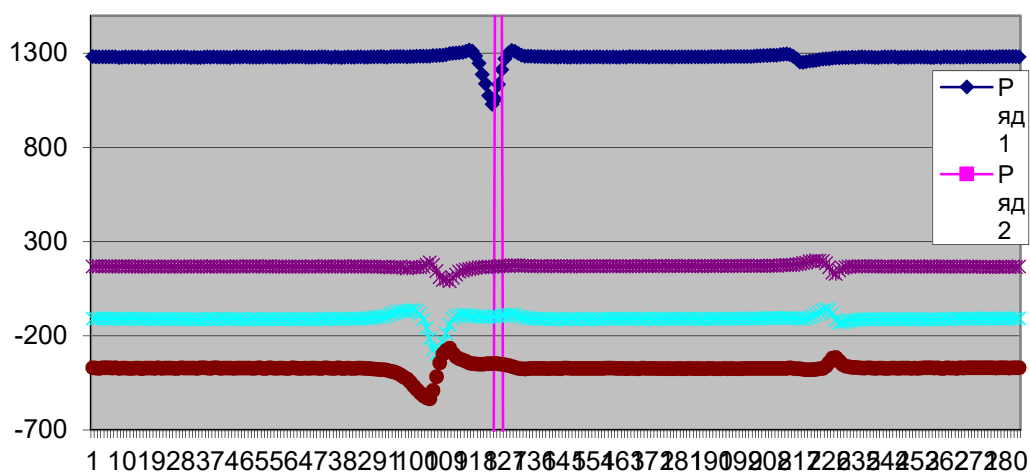


Рисунок 5.2 - Збурення магнітного поля по двох осях

На вище поданому рисунку 5.2 можна побачити збурення магнітного поля на обох датчиках. Збурення відбувається по осях X та Y. Дані  $X_1$  та  $Y_1$  для першого датчика майже збігаються, для підтвердження цього можна накласти побудовані криві одна на одну і вони майже співпадають. Дані  $X_2$  та  $Y_2$  для другого датчика також співпадають. Це також можна перевірити аналогічним способом.

## Вимір збурень магнітного поля із урахуванням максимального від середнього

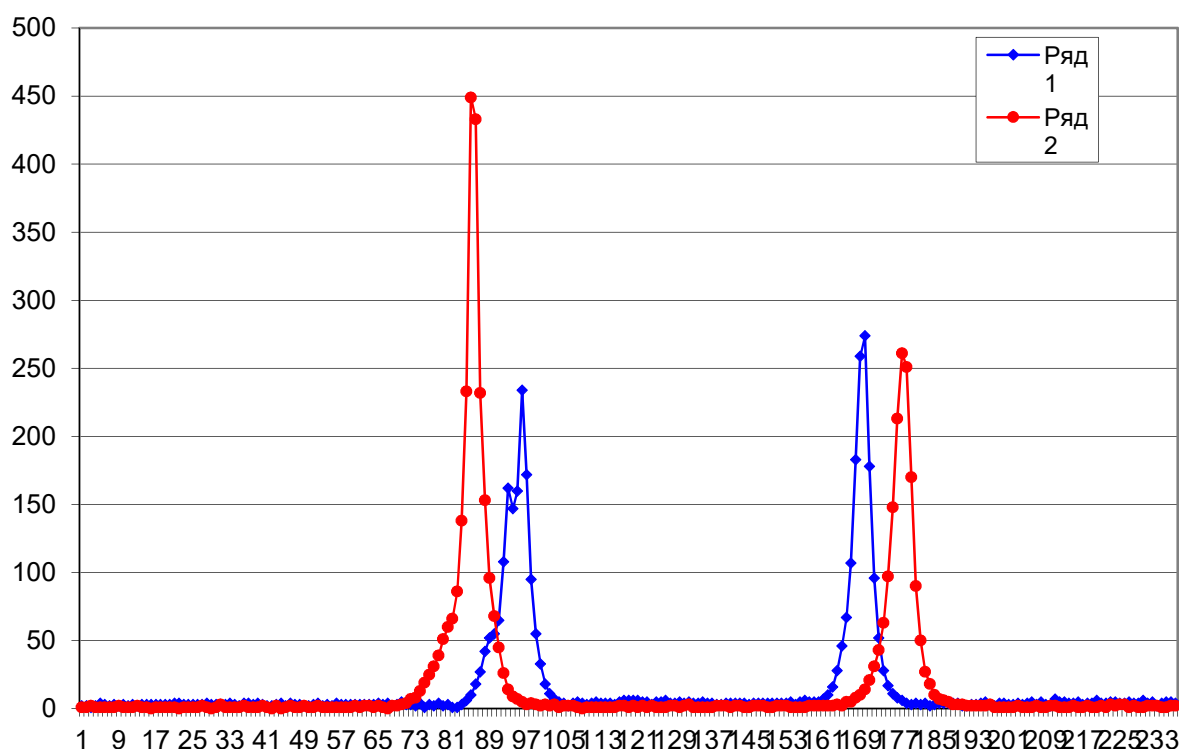


Рисунок 5.3 - Рух авто зліва на право

На вище поданому рисунку 5.3 відображені діаграми побудовані з даних отриманих додатку Microsoft Office Excel можна побачити зміни синусоїди (рух авто зліва на право).

Після деякого аналізу виявляються недоліки. Показання беруться 10 (раз/сек), і цього замало, для ефективного керування станом дорожнього руху. Визначення швидкості і напрямку руху

### Умови експерименту

Відстань між двома датчиками магнітного поля 10 (см).

Над датчиками на висоті 2-3 (см) переміщається сталева викрутка, орієнтована перпендикулярно напрямку переміщення. Діаметр металевої частини 3 (мм), довжина приблизно 10 (см).

Темп опитування датчиків, за результатами вимірювання контрольних імпульсів, становить близько 20,1 (мс). Відповідна частота опитування приблизно - 50 відліків в секунду. На рисунку 5.4 показана осцилограма сигналів на контрольному виході Arduino (DigitalPin13).

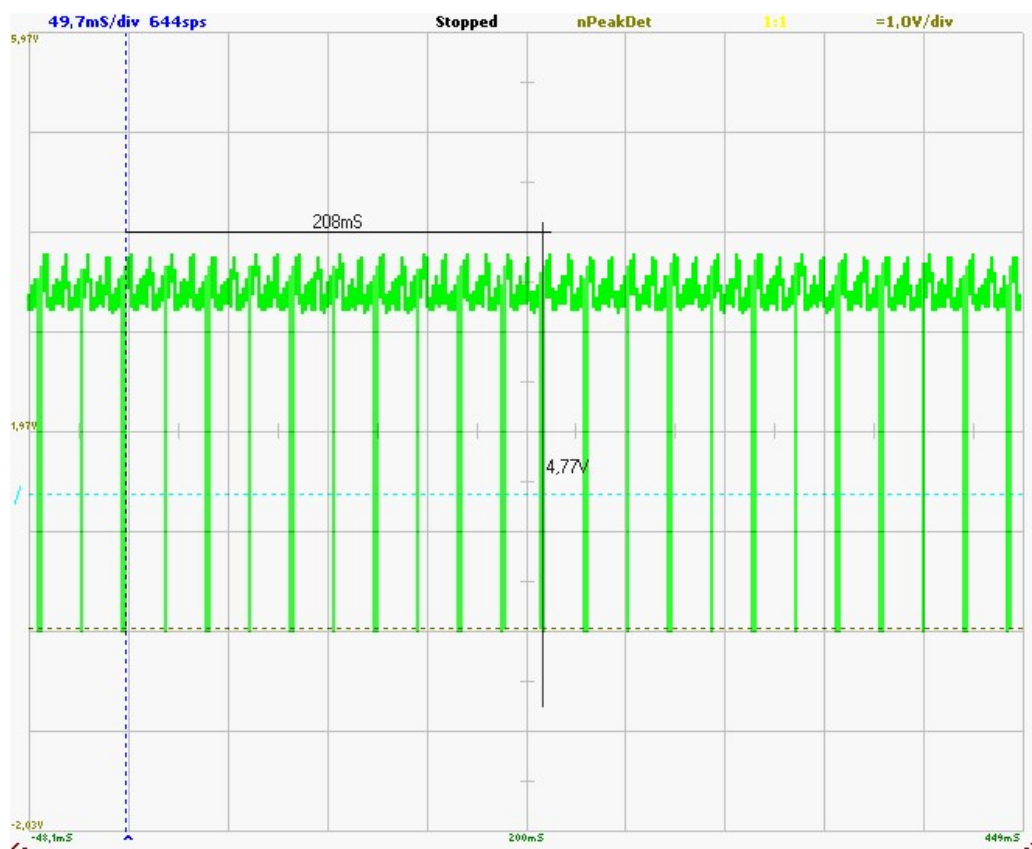


Рисунок 5.4 - Осцилограма сигналів на контрольному виході Arduino

На осцилограмі 10 імпульсів опитування датчика мають тривалість 208 (мс).

### Параметри програми

Додатковий час паузи між опитуваннями  $\_gPause = 0$  - максимальний темп опитування. Цьому відповідає темп опитування 20,1 (мс), або приблизно 50 відліків в секунду.

Поріг збурення магнітного поля для виведення даних  $\_Level = 10$ . Показник ступеня коефіцієнта усереднення даних  $\_kAveraging = 8$ . Цьому відповідає

усереднення по  $28 = 256$  точкам вимірювання. Для заданого темпу вимірювань це відповідає приблизно 5 секундам ( $20,1 \text{ (мс)} * 256 = 5,1 \text{ (с)}$ ).

## 5.2 Результати вимірювань

Відстань між двома датчиками магнітного поля 10 (см).

Над датчиками на висоті 2-3 (см) переміщається сталеві викрутка, орієнтована перпендикулярно напрямку переміщення. Діаметр металевої частини 3 (мм), довжина приблизно 10 (см).

Темп опитування 20 (мс). Викрутка проноситься над датчиками три рази: зліва направо, справа наліво, зліва направо. Відповідні результати вимірювань наведені на рисунок 5.5.

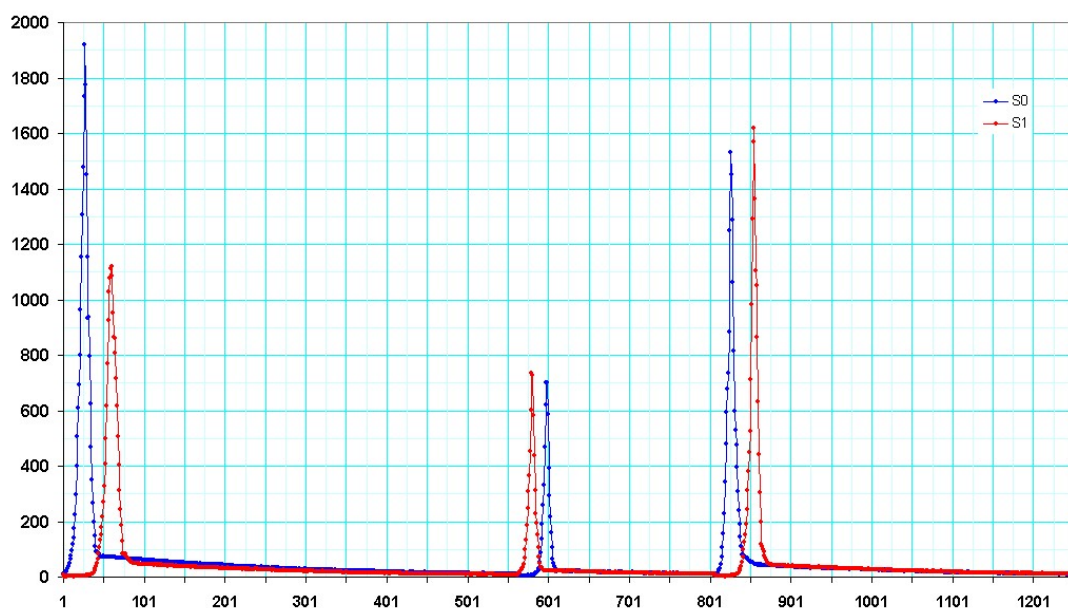


Рисунок 5.5 - Результати трьох вимірів сигналу з двох сенсорів S0 і S1

У першому і в третьому сеансі - рух зліва направо, датчик S0 спрацьовує раніше, ніж датчик S1. У другому сеансі - рух справа наліво, датчик S0 спрацьовує пізніше, ніж датчик S1.



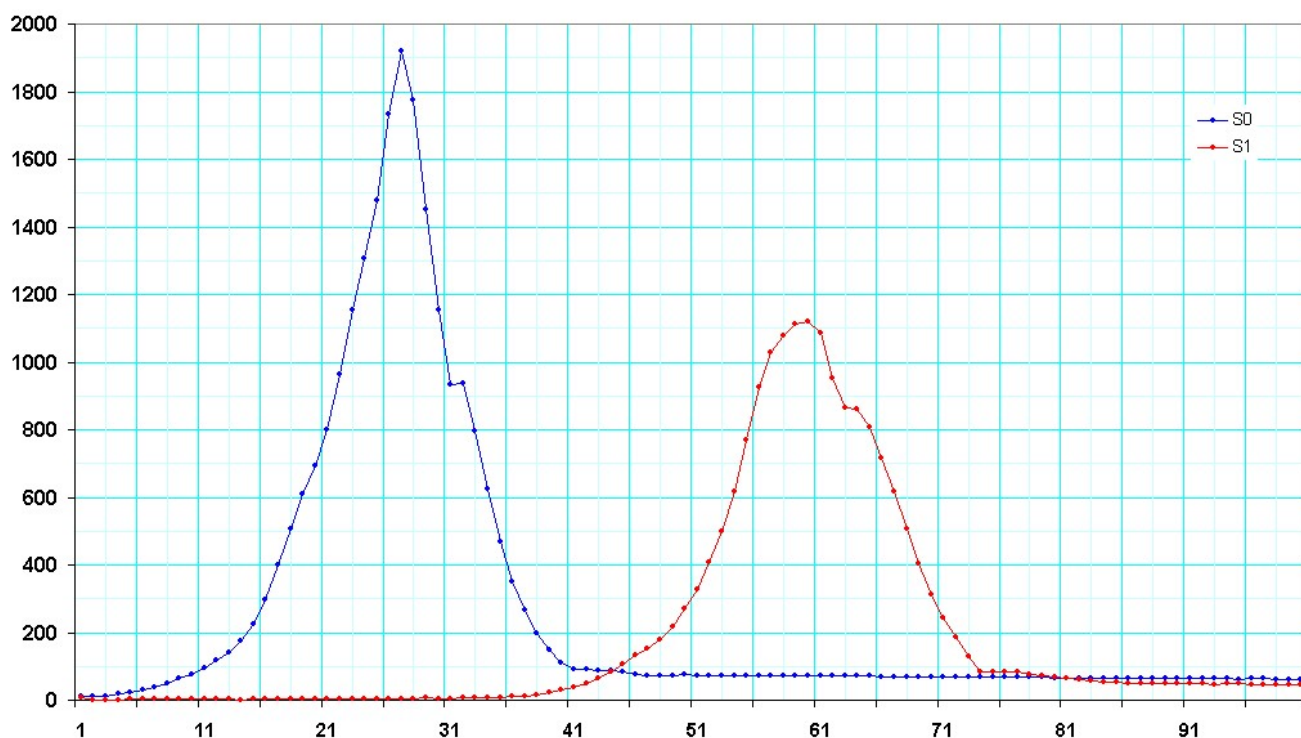


Рисунок 5.6 - Перший фрагмент реєстрації. Точки 1-100

Відстань між імпульсами двох сенсорів приблизно 35 відліків (рисунок 5.6). Відповідний тимчасовий зрушення  $35 * 20 \text{ (мс)} = 700 \text{ (мс)} = 0,7 \text{ (с)}$ . Відповідна швидкість руху об'єкта  $10 \text{ (см)} / 0,7 \text{ (с)} = 14 \text{ (см/с)}$ . Об'єкт рухається зліва направо.

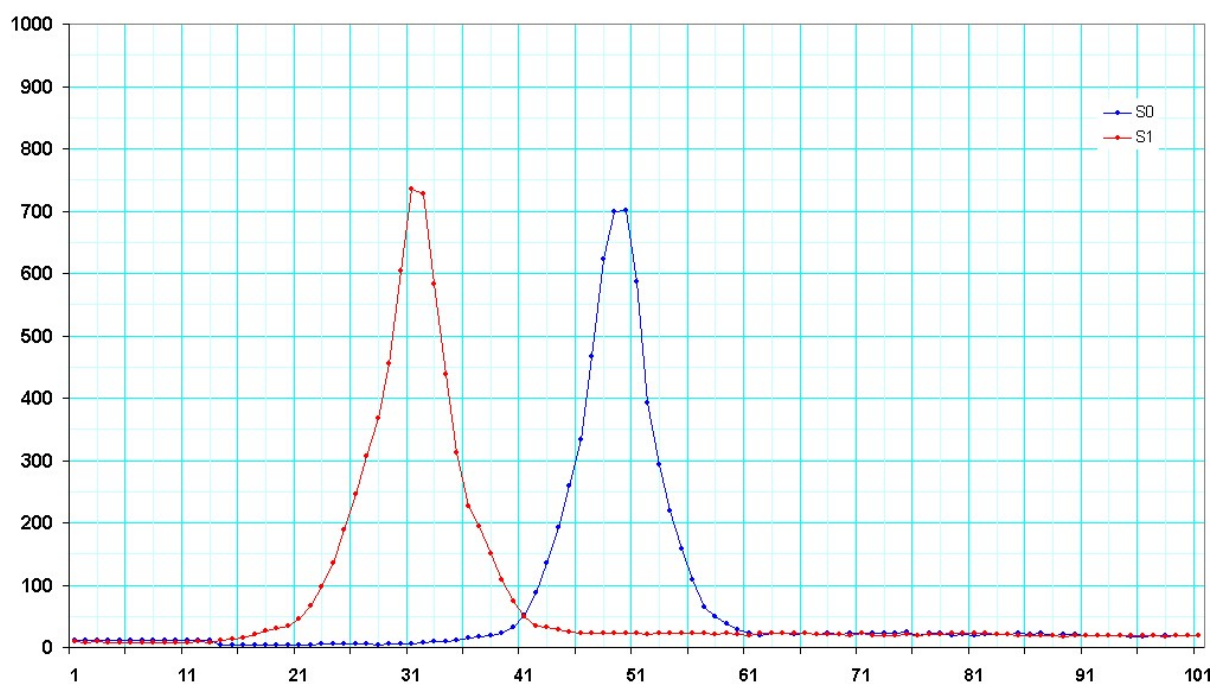


Рисунок 5.7 - Другий фрагмент реєстрації. Точки 550-650

Відстань між імпульсами двох сенсорів приблизно 17 відліків (рисунок 5.7). Відповідний тимчасовий зрушення  $17 * 20 \text{ (мс)} = 340 \text{ (мс)} = 0,34 \text{ (с)}$ . Відповідна швидкість руху об'єкта  $10 \text{ (см)} / 0,34 \text{ (с)} = 29 \text{ (см/с)}$ . Об'єкт рухається справа наліво.

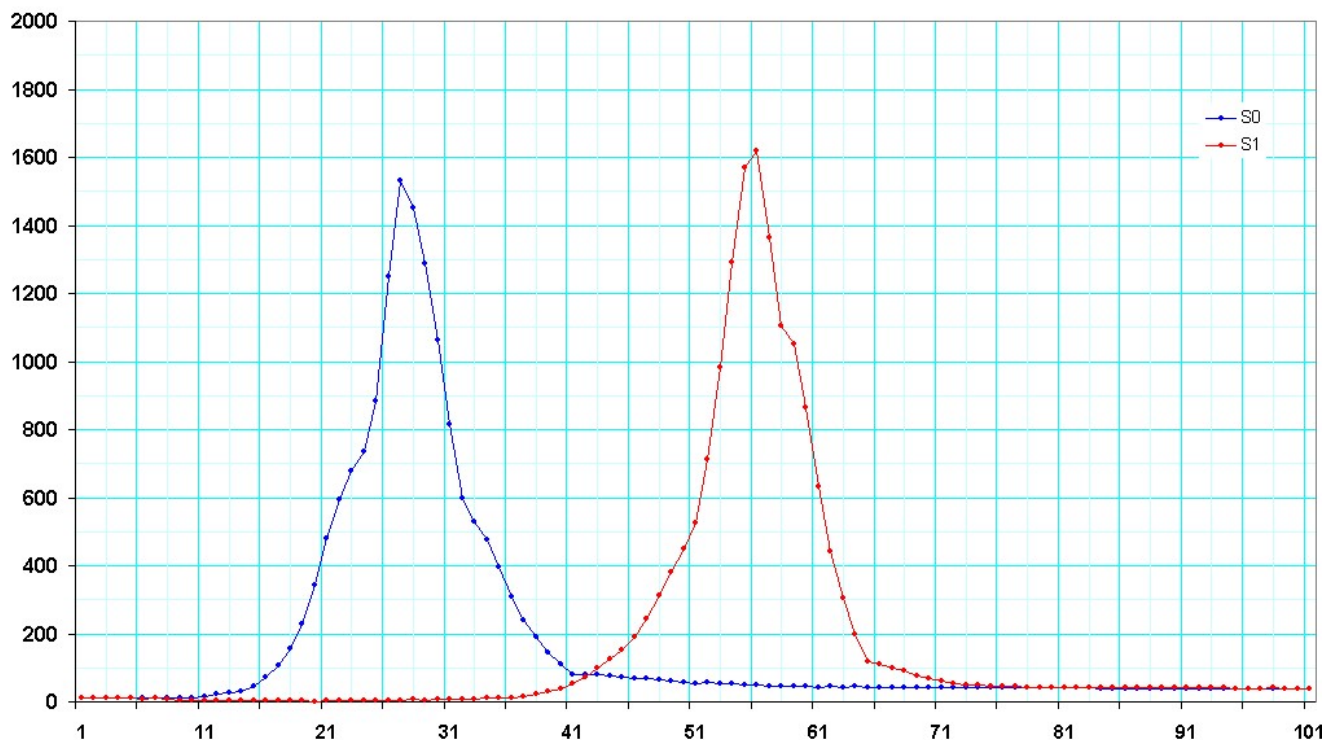


Рисунок 5.8 - Третій фрагмент реєстрації. Точки 800-900

Відстань між імпульсами двох сенсорів приблизно 30 відліків (рисунок 5.8). Відповідний тимчасовий зрушення  $30 * 20 \text{ (мс)} = 600 \text{ (мс)} = 0,6 \text{ (с)}$ . Відповідна швидкість руху об'єкта  $10 \text{ (см)} / 0,6 \text{ (с)} = 17 \text{ (см/с)}$ . Об'єкт рухається зліва направо. З графіку видно що він повторює зображення з екрану осцилографу.

## Висновки до розділу

Під час виконання попереднього розділу дипломної роботи, було досліджено залежність збурення магнітного поля від впливу феромагнітного елементу у середовищі LabVIEW, залежність була відображена графічно.

Характеристика, яка була отримана під час експериментальної перевірки

отриманих даних, є більш менш лінійною, і в повній мірі повторює зображення з осцилографа у LabVIEW. Отримані залежності показують напрям руху об'єкту та час збурення на кожному з датчиків у ході даного дослідження. Також завдяки отриманим даним ми можемо розрахувати швидкість руху об'єкту і його приблизні габаритні розміри. Аналізуючи масиви даних характеристик у подальшому можна швидко визначати вид транспортного засобу (легковий автомобіль, вантажівка, мотоцикл...).

					<i>ДК52.466453.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		75

## ВИСНОВКИ

В дипломному проекті вирішувались питання розробки мікропроцесорної системи визначення інтенсивності руху автотранспорту, яка б дозволяла збільшити ефективність моніторингу та керування транспортним рухом.

В ході проектування були вирішені наступні задачі та отримані такі результати.

1. Аналіз літературних джерел та проведений патентний пошук показали, що більшість існуючих систем моніторингу не справляються з багаторядним рухом, або є досить дорогими. Слабким місцем таких систем є саме датчики, завдяки яким і відбувається фіксація руху транспортних засобів. Для подальшого проектування системи було запропоновано використання чутливих датчиків магнітного поля на основі ефекту Холла. На базі датчиків Холла розроблено метод визначення інтенсивності руху (фіксація напрямку і швидкості руху транспортного засобу), що має змогу фіксувати рух транспортних засобів при багаторядному русі і переулаштуванні автомобілів між смугами руху.

2. На підставі основних функцій та вимог до системи, що проектується, була розроблена структурна схема головного пристрою системи – зонального контролеру. До структури входять функціональні блоки зчитування/обчислення даних, блок візуалізації та структурні зв'язки з магнітними датчиками.

3. Для створення макетного зразку зонального контролеру та проведення експериментальних досліджень щодо обраного методу визначення інтенсивності руху, було проведено аналіз існуючих відлагоджувальних плат. У ході порівняння за основу для подальшої розробки було обрано Arduino Pro Mini. Спираючись на документацію Arduino PRO Mini було розроблено схему електричну принципову та проведено ряд розрахунків номіналів пасивних елементів схеми, що дало змогу провести вибір елементної бази для реалізації проекту.

4. У якості датчиків магнітного поля було обрано трьохосьові датчики магнітного поля які працюють на ефекті Холла. Також було вирішено віддати

					<i>ДК52.466453.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

перевагу SMD компонентам адже вони покращують щільність розміщення на друкованій платі, а також дозволяють робити плати багатошаровими. Виконано реалізацію макетного зразку зонального контролеру з використанням цифрових компасів HMC5883L на базі Arduino PRO Mini.

5. Під час виконання конструкторсько-технологічного проектування друкованого вузлу було виконано аналіз класів точності, типів та матеріалів ДП, зроблено обґрунтування методу виготовлення ДП. Обрано 2-шарову плату з СТЕФ-2, за 3 класом точності. Розглянуто розміщення компонентів на ДП та проектування плати у Altium Designer. Розроблена плата має високу щільність монтажу, підвищену надійність та високу віброміцність.

6. Для підтвердження працездатності друкованого вузла, що проектується, виконано:

- ряд конструкторсько-технологічних розрахунків, які підтвердили правильність вибору 3-го класу точності;

- електричний розрахунок, основні результати якого (падіння напруги на найдовшому провіднику 1.6 мВ; потужність втрат - 4,52 пВт; паразитна ємність 4,34 пФ; паразитна індуктивність 2,83 нГн) дозволяють зробити висновок, що отримані значення паразитних елементів не впливають на роботу ДВ та не потребують додаткових конструкторсько-технологічних або схемотехнічних заходів для їх компенсації;

- розрахунок віброміцності ДП, який підтвердив, що конструкція абсолютно жорстка. Отримане значення власної частоти коливань ДП становить 299,8 (Гц);

- розрахунок часу напрацювання на відмову, який дорівнює 37404 (год) і задовольняє вимоги ТЗ (30000 год).

7. На етапі створення програмного забезпечення пристрою, що проектується, :

- розроблено програмне забезпечення для мікроконтролера, яке реалізує алгоритми обрахунків базових параметрів для визначення транспортного руху і наведено його покроковий алгоритм виконання;

					<i>ДК52.466453.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

- у середовищі LabVIEW розроблено програму візуалізації та виконано поблочне описання об'єктно-орієнтованого коду.

8. У ході натурного експерименту виконано налагодження і тестування апаратно-програмного комплексу. Проведені експерименти підтвердили, що обраний метод визначення параметрів руху, який базується на ефекті Холла, та розроблений макетний зразок зонального контролеру дозволяють визначати швидкість, напрям руху і довжину автотранспорту.

Завдання на дипломне проектування виконано в повному обсязі.

Практична апробація результатів була зроблена на 2-х конференціях (науково-технічна конференція молодих вчених «Електроніка» 2019; XVIII Всеукраїнська наукова конференції молодих учених та студентів «Наукові розробки молоді на сучасному етапі», підсекція «Електротехніка та електроніка»).

За результатами підготовлено дві публікації (тези доповіді на конференцію та стаття до фахового науково-технічного журналу «Електронна та Акустична Інженерія»), які прийняті до друку.

Результати дипломного проектування впроваджено в ТОВ «УНІВЕРСИТЕТ СЕДІКОММ» для подальшого використання при розробці відповідних пристроїв.

					<i>ДК52.466453.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДОРОЖНИЙ ЗАТОР - ЦЕ [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://jak.magey.com.ua/articles/dorozhnij-zator-ce.html>.
2. Ju R. S. Techniques for managing freeway traffic congestion / R. S. Ju, A. R. Cook, T. H. Maze. // Transportation Quarterly. – 1987. – №41. – С. pp.519–537.
3. Ahmed S. A. Urban freeway traffic management technology / Ahmed. // 112. – 1986. – №4. – С. pp.369–371.
4. Детекторы транспорта [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://studbooks.net/81362/tehnika/detektory\\_transporta](https://studbooks.net/81362/tehnika/detektory_transporta)
5. Мониторинг транспортных потоков. // Информационные технологии на транспорте 2-е изд., пер. и доп. Учебник для академического бакалавриата / – Москва: Юрайт, 2019. – С. 128–133.
6. Власов А. А. УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДЕТЕКТОР ТРАНСПОРТА НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ARDUINO [Електронний ресурс] / А. А. Власов, В. В. Нашивочников – Режим доступу до ресурсу: <https://bit.ly/2LFhEKA>.
7. Вишневский В. М. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ НАРУШЕНИЙ ПРАВИЛ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ RFID-ТЕХНОЛОГИЙ И НОВЕЙШИХ БЕСПРОВОДНЫХ СРЕДСТВ [Електронний ресурс] / В. М. Вишневский, Р. Н. Минниханов – Режим доступу до ресурсу: <http://www.problem-info.sccc.ru/2012-1/5.pdf>.
8. Мониторинг автомобильных дорог [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://gt.madi.ru/gis/monitoring-avtomobilnykh-dorog>.
9. Системы дорожного мониторинга. Интеллектуальная транспортная система [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://bit.ly/2VJNqXa>
10. Stephen W., Railway wheel sensor employing hall effect devices and corresponding method [Електронний ресурс] / W. Stephen – Режим доступу до ресурсу: <https://bit.ly/2JBI0KM>

11. Система для автоматизованого контролю дотримання водієм автомобіля правил дорожнього руху та визначення факту виникнення дорожньо-транспортної пригоди [Електронний ресурс] / [О. О. Лук'янова, О. І. Дохов, О. М. Сітенко та ін.] – Режим доступу до ресурсу: <https://bit.ly/2HiZ2Mn>.

12. Осіпов С. К. Способ определения скорости движения и координат транспортных средств с последующей их идентификацией и автоматической регистрацией нарушений правил дорожного движения и устройство для его осуществления [Електронний ресурс] / С. К. Осіпов, А. Ю. Малкін, О. Г. Морская – Режим доступу до ресурсу: <https://bit.ly/2JkciST>.

13. Средства и методы измерения магнитных величин [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://bit.ly/2Ib10zN>

14. Отладочная плата, стенд разработчика AVR ATMEGA128 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://freedelivery.com.ua/arduino-100/kontrollery-135/otladochnaya-plata-stend-razrabotchika-avr-atmega128-2937.html>

15. Arduino Pro Mini 328 - 5V/16MHz [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://bit.ly/31iQbBZ>

16. ARM Cortex-m3 STM32 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://bit.ly/2yMKUp4>

17. Вибір дискретних компонентів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://bit.ly/2KwR1VP>

18. Лескин В.Ф., Методические указания по конструкторско-технологическому и электрическому расчету печатных плат // В.Ф. Лескин, А.Н. Лысенко, Т.Л. Захарченко – Киев, НТУУ «КПИ», 2010.

ГОСТ 12.2.007-75. Система стандартов безопасности труда. ИЗДЕЛИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ. Общие требования безопасности.

ГОСТ 15150-69. МАШИНЫ, ПРИБОРЫ И ДРУГИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.



ГОСТ 23571-86. ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ. Основные параметры конструкции.

ГОСТ 23752-79. ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ. Общие технические условия.

ГОСТ 29137-91. ФОРМОВКА ВЫВОДОВ И УСТАНОВКА ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ НА ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ. Общие требования и нормы конструирования.

ГОСТ Р 50621-93. ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ ОДНО- И ДВУСТОРОННИЕ С НЕМЕТАЛЛИЗИРОВАННЫМИ ОТВЕРСТИЯМИ. Общие технические требования.

ДСТУ 3008:2015. ЗВІТИ У СФЕРІ НАУКИ І ТЕХНІКИ. Структура та правила оформлювання.

ДСТУ 2646-94. ПЛАТИ ДРУКОВАНІ. Терміни та визначення ОСТ 4.010.022 – 85

					<i>ДК52.466453.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

## Додаток А. Технічне завдання на проектування

### 1. Найменування та галузь використання

Малогабаритна мікропроцесорна система визначення інтенсивності руху автотранспорту модуляційного типу. Пристрій належить до області автоматизованих систем оптимізації контролю дорожнього руху. І націлений на використання для регулювання дорожнього трафіку.

### 2. Підстава для розробки

Підставою для розробки є завдання на дипломний проект згідно наказу по НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» №.1405с від 27.05.2019 р.

### 3. Мета і призначення розробки

Метою даної роботи є створення інформаційної систем моніторингу дорожнього руху на базі обробки даних отриманих завдяки чутливим сенсорам магнітного поля для поліпшення моніторингу транспортного руху і ефективної оцінки проблемних ділянок траси, отримання оперативної дорожньо-транспортної інформації, керування рухом у мегаполісах, регулювання тривалості світлофорних тактів та своєчасного вмикання інформаційних знаків.

### 4. Технічні вимоги

#### 4.1 Склад виробу й вимоги до пристрою, що розробляється

Пристрій являє собою моноблочну конструкцію, яка містить два магнітних датчики, двонаправлений вихід для зв'язку з комп'ютером.

#### 4.2 Показники призначення

Пристрій повинен забезпечувати:

- цифрову обробку результатів вимірювання;
- цифрове калібрування;
- розрахунок кінцевого результату.

#### 4.3 Вимоги до надійності

Середній час напрацювання на відмову повинен бути на менше 30000 год.

					ДК52.466453.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

#### **4.4 Вимоги до технологічності**

Орієнтовані на передові прийоми виготовлення деталей і складання.

#### **4.5 Вимоги до рівня уніфікації й стандартизації**

Для виготовлення пристрою передбачається максимальне застосування стандартних, уніфікованих деталей та виробів.

#### **4.6 Вимоги безпеки обслуговування**

Керуватися загальними вимогами безпеки до апаратури низької напруги ГОСТ 12.2.007-75.

#### **4.7 Вимоги до складових частин виробу, сировини, вихідних і експлуатаційних матеріалів**

Для виробництва пристрою використовують матеріали імпорного виробництва.

#### **4.8 Умови експлуатації**

Кліматичне виконання УХЛ.5.1 по ГОСТ 15150-69.

#### **4.9 Вимоги до транспортування і зберігання**

Група умов зберігання Л1 по ГОСТ 15150-69. Робота у вологих обмежених просторах без опалення і вентиляції, при наявності води або конденсату в яких забезпечуються наступні умови: температура повітря  $-60...+70(^{\circ}\text{C})$ , відносна вологість повітря 75% при  $150(^{\circ}\text{C})$  (середньорічне значення), атмосферний тиск  $84...106$  (кПа).

Прилад повинен витримувати вимоги транспортування та зберігання, які встановлені для електропобутової апаратури:

- 1) умови транспортування середні (С) ГОСТ 23216-78;
- 2) зберігання у відповідності з умовами УХЛ.5.1 по ГОСТ 15150-69.

### **5. Результати роботи**

**5.1** Результати даної роботи можуть бути використані як вихідна документація по створенню прототипу пристрою, його програмування, налагодження й подальшого впровадження в серійне виробництво.

					<i>ДК52.466453.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

**5.2** Дана робота (звітна документація) після виконання надається на кафедру КЕОА для подальшого захисту й зберігання як навчальної документації.

**6. Робота повинна містити в собі документи**

- пояснювальну записку (формату А4, до 80 аркушів) ;
- схему електричну принципову та перелік елементів (формату А3, А4 відповідно) ;
- складальне креслення плати та специфікацію (формату А1, А4 відповідно);
- креслення друкованої плати (формату А1) ;
- складальне креслення коробки, кришки, складальне креслення коробки з платою (А3, А3, А3 відповідно)
- додатки (формату А1-А4).

**7. Порядок розгляду й приймання роботи**

Порядок розгляду й приймання роботи на загальних умовах, прийнятих на кафедрі КЕОА. Рецензування й прийняття роботи комісією на загальних умовах. У процесі виконання роботи проміжні звіти надаються комісії не рідше 1 раз у тиждень на загальних умовах.

**8. Економічні показники**

В умовах даного проекту не розглядаються.

					<i>ДК52.466453.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

## 9. Етапи розробки

№ з/п	Назва етапів виконання Дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Збір і аналіз літератури, патентний пошук, постановка завдання на проектування	04.09.18-31.12.18	виконано
2	Аналіз технічного завдання	01.01.19-26.02.19	виконано
3	Вибір елементної бази та друкованої плати	26.02.19-02.04.19	виконано
4	Схемо-технічне проектування	02.04.19-09.04.19	виконано
5	Виконання креслень схеми електричної принципової	09.04.19-23.04.19	виконано
6	Конструкторсько-технологічні розрахунки	23.04.19-30.04.19	виконано
7	Електричний розрахунок друкованої плати	30.04.19-07.05.19	виконано
8	Розрахунок віброміцності друкованої плати	07.05.19-14.05.19	виконано
9	Проектування у Altium Designer	14.05.19-21.05.19	виконано
10	Виконання креслень друкованої плати та складального креслення друкованого вузла	21.05.19-28.05.19	виконано
11	Оформлення пояснювальної записки	28.05.19-16.06.19	виконано

## Додаток Б. Програма мікропроцесора для передачі даних на ПК

Compas2distAvE. pde

/\*

HMC5883L 2 chanel

Intreface:

\* SDC\_0 - D2

\* SDA\_0 - D3

\* SDC\_1 - D4

\* SDA\_1 - D5

\* 3.3V

\* Gnd

\*/

#define \_kAvereging 4 // N = 16; N = 2 ^ \_kAvereging

// Sensors pins

#define \_SDC\_0 2

#define \_SDA\_0 3

#define \_SDC\_1 4

#define \_SDA\_1 5

#define \_Bods 115200

#define \_Led 13

#define \_ADDR 0x1E

#define \_gain 0 // 0-7 0 = most sensitive

#define \_avrg 3 // 0-3 3 = 8 samples

```

#define _rate 6 // 0-6 6 = 75Hz

#define _noBias 0 // normal conditions

#define _pBias 1 // positive bias field

#define _nBias 2 // negative bias field

#define _cont 0 // continuouse

#define _single 1 // single

#define _mDelay 6 // ms


#define _gPause 100 // ms


#include <SoftI2cMaster. h>


SoftI2cMaster ch [2];


long XavrN [2], YavrN [2], ZavrN [2]; // Avrg * N chaneln 0/1
int X [2], Y [2], Z [2]; // Current values chaneln 0/1


void setup () {
  ch [0] . init (_SDC_0, _SDA_0);
  ch [1] . init (_SDC_1, _SDA_1);


  Serial. begin (_Bods);
  Serial. println ();
  Serial. print ("setup");
  pinMode (_Led, OUTPUT);


  setConditions (ch [0]);
  setConditions (ch [1]);
  digitalWrite (_Led, HIGH);

```

```

delay (100); // To stabilize enveronment conditions

digitalWrite (_Led, LOW);

// Save inital values
singleRead (ch [0], 0);
singleRead (ch [1], 1);
for (int c = 0; c <2; c ++) {
  initAverege (& XavrN [c], X [c]);
  initAverege (& YavrN [c], Y [c]);
  initAverege (& ZavrN [c], Z [c]);
} //

} // setup

void loop () {
  digitalWrite (_Led, HIGH);
  singleRead (ch [0], 0);
  singleRead (ch [1], 1);
  digitalWrite (_Led, LOW);

  for (int c = 0; c <2; c ++) {
    // Remove constant values
    X [c] = difAverege (& XavrN [c], X [c]);
    Y [c] = difAverege (& YavrN [c], Y [c]);
    Z [c] = difAverege (& ZavrN [c], Z [c]);

    X [c] = abs (X [c]); Y [c] = abs (Y [c]); Z [c] = abs (Z [c]);
    // Maximum disturbance
    if (Y [c]> X [c]) X [c] = Y [c]; // Maximum X, Y

```



```

    if (Z [c]> X [c]) X [c] = Z [c]; // Maximum X, Z
    } //
    Serial. print ("*");
    Serial. print (X [0]); // chanel 0
    Serial. print (";");
    Serial. print (X [1]); // chanel 1

    delay (_gPause);
} // loop

// ----- Avereging and removing slow trend -----
--

void initAverege (long * pAvrgN, int x) { // init avarege value
    * pAvrgN = (long) x << _kAvereging; // AvrgN = x * N; N = 2 ^
_kAvereging;
} // Average

int difAverege (long * pAvrgN, int x) {
    int cAvrg = * pAvrgN >> _kAvereging; // Avrg = AvrgN / N; N = 2
^ _kAvereging;
    * pAvrgN = * pAvrgN - cAvrg + x; // Avrg = Avrg * (1 - 1 / N) + x / N
-> AvrgN = AvrgN - AvrgN / N + x
    return x - cAvrg; // Dif = x - Avrg
} // Average

// ----- Compas sensors processing -----
-----

void setConditions (SoftI2cMaster ch) {
    ch. start (_ADDR << 1);

```

```

ch. write (0x00); // Register A
    // 0AARRRBB - Averaging 1, 2, 4, 8; Rate Hz 0. 75, 1. 5, 3. 0, 7. 5,
    // 15 (def), 30, 75; Bias 0, +, -;
ch. write (_avrg << 5 | _rate << 2 | _noBias);
ch. stop ();
ch. start (_ADDR << 1);
ch. write (0x01); // Register B
    // GGG00000 - Gain for 1Gauss - 1370, 1090 (def), 820, 660, 440,
    // 390, 330, 230
ch. write (_gain << 5); // gain
ch. stop ();
ch. start (_ADDR << 1);
ch. write (0x02); // Mode Register
    // H00000MM - I2C speed normal / high; Mode 0-continuous,
    // 1-single (def), 2, 3-idle
ch. write (_single);
ch. stop ();
delay (_mDelay);
} // setConditions

void singleRead (SoftI2cMaster ch, char iSensor) {
    ch. start (_ADDR << 1);

    ch. write (0x02); // Mode Register
    ch. write (_single);
    ch. stop ();
    delay (_mDelay);
    ch. start (_ADDR << 1);
    ch. write (0x03); // Point to X-register

```

```

ch. stop ();

ch. start (_ADDR << 1 | 1); // read

X [iSensor] = (int) ch. read (0) << 8 | (int) ch. read (0); // x

Z [iSensor] = (int) ch. read (0) << 8 | (int) ch. read (0); // z

Y [iSensor] = (int) ch. read (0) << 8 | (int) ch. read (1); // y

ch. stop ();


} // singleRead

```

**Додаток В. Наукова публікація**

**XI МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ МОЛОДИХ  
ВЧЕНИХ «ЕЛЕКТРОНІКА-2019»**

**Мирошничкено Є.М. «МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ  
ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ АВТОТРАНСПОРТУ»**



 **Електронна та Акустична Інженерія**  
Науково-технічний журнал


**ДОВІДКА**

Видана Мирошничченко Є. М. в тому, що його стаття «Мікропроцесорна система визначення інтенсивності руху автотранспорту», станом на 30.05.2019 р. підготовлена до друку та знаходиться у видавництві журналу «Електронна та Акустична Інженерія».

Відповідальний редактор  
к.т.н. доцент

Заступник головного редактора,  
декан ФЕЛ, д.т.н.

  О. В. Богданов

 В. Я. Жуйков

# МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ АВТОТРАНСПОРТУ

Мирошніченко Є.М., студент ДК-52

miregomax@gmail.com

Факультет електроніки

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
м. Київ, Україна

**Реферат** — в статті розглянуто основні принципи моніторингу дорожнього трафіку. Основою інформаційних системи моніторингу дорожнього руху є візуальні спостерігачі та датчики дорожньо-транспортних параметрів. Існуючі на даний момент трафік-сенсори показують незадовільні результати в умовах інтенсивного руху транспортних засобів (ТЗ), паркування ТЗ на смузі руху, візуального перекриття ТЗ трафік-сенсора та при русі ТЗ поміж смуг. В статті запропоновано архітектуру системи з використанням датчиків Холла для збору первинної інформації про рух транспортних засобів. Розроблено апаратну реалізацію дослідного зразку блоку обробки даних системи та експериментально доведено можливість застосування магнітно-резонансного ефекту для визначення інтенсивності руху автотранспорту.

**Ключові слова** — датчики Холла; магнітно-резонансний ефект; зональні контролери; моніторинг руху транспортних засобів.

## I. ВСТУП

Враховуючи зростаючі темпи збільшення автомобільного трафіку, актуальним є питання моніторингу транспортного руху для ефективної оцінки проблемних ділянок траси, отримання оперативної дорожньо-транспортної інформації, керування рухом у мегаполісах, регулювання тривалості світлофорних тактів та своєчасного вмикання інформаційних знаків.

Основою інформаційної системи моніторингу дорожнього руху є візуальні спостерігачі та датчики дорожньо-транспортних параметрів. Від їх функціональних можливостей та достовірності даних великою мірою залежить ефективність роботи всієї інформаційної системи. Сучасні системи контролю дорожнього трафіку базуються на зональних контролерах (ЗК), які складаються з датчика для отримання первинної інформації про рух транспортних засобів та мікропроцесорного блоку попередньої обробки даних [1]. Найчастіше використовують оптичні та ультразвукові датчики, магнітні ворота, системи відеоспостереження [2]. Існуючі трафік-сенсори іноземного виробництва показують незадовільні результати в умовах інтенсивного руху транспортних засобів (ТЗ), паркування ТЗ на смузі руху, візуального перекриття ТЗ трафік-сенсора та при русі ТЗ поміж смуг. Це приводить до передчасного переходу ЗК до функціонального стану «затор», та значного зниження інформативності системи. Метою роботи є розробка ЗК який міг б нівелювати всі вищеперераховані недоліки.

## II. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ФІКСАЦІЇ РУХУ АВТОМОБІЛІВ

Для пошуку оптимального рішення для фіксації руху автомобілів, було проаналізовано існуючі на даний момент системи контролю дорожнього руху [3, 4], які використовують різні фізичні ефекти та відповідні датчики для збору первинної інформації. У таблиці 1 наведено порівняльний аналіз базових особливостей найбільш поширених методів моніторингу інтенсивності руху.

Аналіз існуючих систем моніторингу показує, що слабким місцем таких систем є саме датчики/способи якими детектується рух. Тому, основною задачею при створенні нових систем контролю дорожнього руху є вибір ефективного методу фіксації руху транспортного засобу. Нижче буде розглянуто, метод, що базується на ефекті Холла та показана можливість його застосування в системах моніторингу дорожнього трафіку.

## III. МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ НА ОСНОВІ ЕФЕКТУ ХОЛЛА

Кожний транспортний засіб має у своєму кузові металеві елементи і, при своєму переміщенні, він буде тим чи іншим чином впливати на магнітне поле Землі.

У загальному розумінні ефект Холла - це виникнення в твердому провіднику з щільністю струму  $j$ , розміщеному в магнітне поле напруженістю  $H$ , електричного поля напруженістю  $E_H$  в напрямку, перпендикулярному  $H$  і  $j$  [5]. Величина напруженості електричного поля (поля Холла) визначається наступним чином:





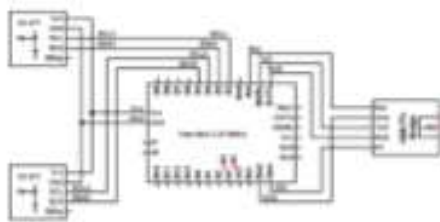


Рис. 3. Схема електрично-принципова зонального контролеру.

## V. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ

Для перевірки працездатності розглянутого вище методу вимірювання інтенсивності руху, було спроектовано макет експериментального стенду (рис. 4.).

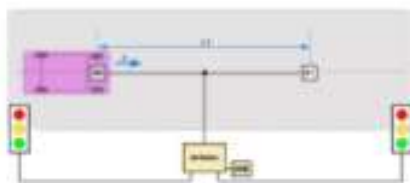


Рис. 4. Макет експериментального стенду.

Датчики магнітного поля S0 та S1 були встановлені на відстані 10см один від одного. Для емуляції руху транспортного засобу, на висоті 2-3см від датчиків переміщався сталевий випуклу, орієнтована перпендикулярно напрямку переміщення. Випуклу була обрана, як об'єкт, що певною мірою нагадує передню/задню вісь автомобіля. В даному експерименті для зняття значень з датчиків було обрано темп опитування датчиків  $t_z = 20\text{ms}$ . В реальних системах моніторингу значення даного параметру обирається з урахуванням мінімальної довжини автомобіля і максимальної швидкості його переміщення.

В ході експерименту випуклу переміщується над датчиками три рази зі зміною напрямку руху. Експериментальні результати, які ілюструють зміни магнітного поля при переміщенні об'єкту над датчиками наведені на рис. 5.

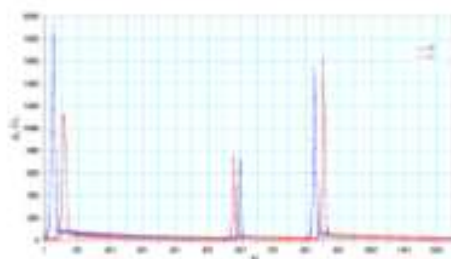


Рис. 5. Результати трьох випробів сигналу з двох сенсорів S0 і S1, де A - амплітуда магнітного поля ( $I_c$ ), N - номер відліку часу.

З рисунку видно, що зміна напрямку руху об'єкта (зліва на право та навпаки) призводить до зміни черговості спрацювання датчиків, що підтверджує можливість застосування запропонованого ЗК для визначення напрямку руху. На рисунку 6 наведено фрагмент реєстрації руху об'єкту в один бік, дані

якого використовуються для розрахунку швидкості руху.

Відстань між імпульсами двох сенсорів приблизно 35 відліків. Відповідно час проходження випуклу над датчиками:  $35 \cdot 20\text{ms} = 700\text{ms}$ . З урахуванням відстані між датчиками 10 см, усереднена швидкість руху об'єкта складає  $10\text{cm} / 0.7\text{s} = 14\text{cm/s}$ .

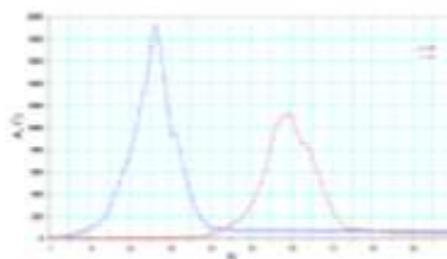


Рис. 6. Перший фрагмент реєстрації. Точки 1-100.

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

В роботі запропоновано метод визначення параметрів дорожнього руху, який базується на ефекті Холла. Обґрунтовано використання чутливих сенсорів магнітного поля - цифрових компасів. Запропонована блок-схема системи моніторингу дорожнього руху та виконано реалізацію зонального контролеру з використанням цифрових компасів HMC5883L на базі Arduino PRO Mini. З використанням розробленого експериментального стенду проведено цикл натурних експериментів, які підтвердили можливість використання запропонованого методу для визначення швидкості та напрямку руху транспортних засобів. При розробці ЗК для реальних систем моніторингу дорожнього трафіку необхідно визначити два параметри системи - відстань між датчиками та темп опитування датчиків, виходячи з мінімальної довжини транспортного засобу, максимально можливої швидкості руху автомобілів та конкретної задачі визначення усередненої швидкості руху.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] R. S. Ju, A. R. Cook, and T. H. Maze, "Techniques for managing freeway traffic congestion," *Transportation Quarterly*, vol. 41, no. 4, pp. 519-537, 1987.
- [2] S. A. Ahmed, "Urban freeway traffic management technology," *Journal of Transport Engineering*, vol. 112, no. 4, pp. 369-371, 1986.
- [3] «Monitoring avtomobilnykh dorog. [Road monitoring]», - URL: <http://gt.madi.ru/gt/monitoring-avtomobilnykh-dorog>
- [4] «Sistemyi dorozhnogo monitoringa. Intellektualnaya transportnaya sistema. [Road monitoring systems. Intelligent transport system.]», - URL: <https://bit.ly/2VJNaXa>
- [5] «Sredstva i metodyi izmereniya magnitnykh velichin. [Means and methods for measuring magnetic quantities.]», - URL: <https://bit.ly/2Ib10zN>
- [6] «ARDUINO VYMIRUEMO MAGNITNE POLE ZEMI MAGNITOMETROM HMC5883L. [ARDUINO MEASURING THE MAGNETIC FIELD OF THE EARTH MAGNETOMETER HMC5883L.]», - URL: <https://bit.ly/2UTRtDv>

## Додаток Г. Наукова публікація 2

### ДОВІДКА

Видана студенту Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського Мирошніченко Є.М. (гр. ДК-52) в тому, що тези його доповіді на тему «СИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ АВТОТРАНСПОРТУ», прийняті до друку у збірнику тез XVIII Всеукраїнської наукової конференції молодих учених та студентів «Наукові розробки молоді на сучасному етапі» (підсекція «Електротехніка та електроніка», 18-19 квітня 2019 р.)

Випуск збірника запланований на липень 2019 р.

Начальник НДЧ



Н.Д. Пруднікова

					ДК52.466453.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		96



**ТЕМА: «СИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ АВТОТРАНСПОРТУ»****Мирошниченко Є.М.**

Студент 4 курсу факультету електроніки

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Враховуючи зростаючі темпи збільшення автомобільного трафіку, актуальним є питання моніторингу транспортного руху для ефективної оцінки проблемних ділянок траси, отримання оперативної дорожньо-транспортної інформації, керування рухом у мегаполісах, регулювання тривалості світлофорних тактів та своєчасного вмикання інформаційних знаків.

Основою інформаційної системи моніторингу дорожнього руху є візуальні спостерігачі та датчики дорожньо-транспортних параметрів. Від їх функціональних можливостей та достовірності даних великою мірою залежить ефективність роботи всієї інформаційної системи. Сучасні системи контролю дорожнього трафіку базуються на зональних контролерах (ЗК), які складаються з датчика для отримання первинної інформації про рух транспортних засобів та мікропроцесорного блоку попередньої обробки даних [1]. Найчастіше використовують оптичні та ультразвукові датчики, магнітні ворота, системи відеоспостереження [2]. Існуючі трафік-сенсори іноземного виробництва показують незадовільні результати в умовах інтенсивного руху транспортних засобів (ТЗ), паркування ТЗ на смузі руху, візуального перекриття ТЗ трафік-сенсора та при русі ТЗ поміж смуг. Це приводить до передчасного переходу ЗК до функціонального стану «затор», та значного зниження інформативності системи. Метою роботи є розробка ЗК який міг б нівелювати всі вищеперераховані недоліки.

Для пошуку оптимального рішення для фіксації руху автомобілів, було проаналізовано існуючі на даний момент системи контролю дорожнього руху [3, 4], які використовують різні фізичні ефекти та відповідні датчики для збору первинної інформації. Аналіз існуючих систем моніторингу показує, що слабким місцем таких систем є саме датчики/способи якими детектується рух. Тому, основною задачею при створенні нової системи контролю дорожнього руху є вибір ефективного методу фіксації руху транспортного засобу. Нижче буде розглянуто, метод, що базується на ефекті Холла та показана можливість його застосування в системах моніторингу дорожнього трафіку.

Кожний транспортний засіб має у своєму кузові металеві елементи і, при своєму переміщенні, він буде тим чи іншим чином впливати на магнітне поле Землі [5]. Щоб фіксувати цю зміну ми будемо використовувати датчики магнітного поля. Данні які зчитують датчики під час збурення магнітного поля буде обробляти мікроконтролер з завчасно завантаженою у нього програмою (у нашому випадку мікроконтролер виконує функції визначення швидкості і напрямку руху).

До складу системи входять наступні компоненти та блоки:

- Два датчики – датчики Холла для зняття первинної інформації;
- блок обробки даних, який складається з блоку зчитування та блоку обчислення. Блок зчитування реалізує зняття інформації з датчиків Холла з визначеним кроком зчитування  $t_s$ . Блок обчислень, реалізовує алгоритм роботи системи, виконуючи необхідні обчислення швидкості руху на підставі інформації, яка надійшла з блоку зчитування;
- блок візуалізації реалізує інтерфейс користувача системи з візуалізацією результатів моніторингу.

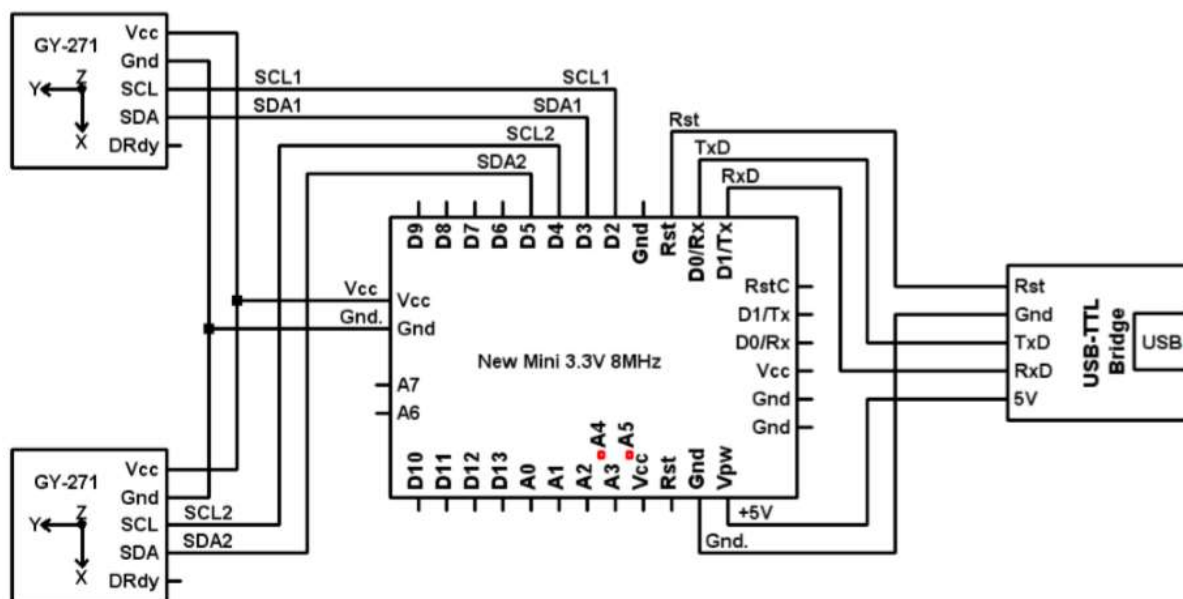


Рис. 1. Схема електрична-принципова зонального контролеру.

### Висновки та рекомендації:

1. Проаналізовано існуючі системи контролю дорожнього руху.
2. Проведено аналіз фізичних методів контролю руху автотранспорту.
3. Проведено аналіз методів обробки інформації та моніторингу дорожнього руху.
4. Для реєстрації руху автотранспорту пропонується використовувати чутливі сенсори магнітного поля - цифрові компаси.
5. Розроблено проект мікропроцесорної системи з магнітними сенсорами для фіксації руху автотранспорту, або будь-яких об'єктів, що мають у своєму складі феромагнітні матеріали.

### ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

- [1] R. S. Ju, A. R. Cook, and T. H. Maze, "Techniques for managing freeway traffic congestion," *Transportation Quarterly*, vol.41, no.4, pp.519-537, 1987.
- [2] S. A. Ahmed, "Urban freeway traffic management technology," *Journal of Transport Engineering*, vol.112, no.4, pp.369-371, 1986.
- [3] Мониторинг автомобильных дорог. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://gt.madi.ru/gis/monitoring-avtomobilnykh-dorog>
- [4] Системы дорожного мониторинга. Интеллектуальная транспортная система. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://mkk-group.ru/production/traffic/>
- [5] Средства и методы измерения магнитных величин. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://electricalschool.info/spravochnik/izmeren/1846-sredstva-i-metody-izmerenija-magnitnykh.html>

## Додаток Д. Акт про впровадження

«ЗАТВЕРДЖУЮ»  
Директор ТОВ  
«УНІВЕРСИТЕТ СЕДІКОММ»  
*Геращенко К.В.*  
03.06. 2019р.

### АКТ

впровадження результатів дипломного проекту  
виконаного студентом групи ДК-52  
кафедри КЕОА ФЕЛ НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського»

**Мирошніченко Єгором Максимовичем**

на тему “Мікропроцесорна система визначення інтенсивності руху”

Даний акт складено про те, що результати дипломного проекту «Мікропроцесорна система визначення інтенсивності руху» студента групи ДК-52 кафедри КЕОА ФЕЛ НТУУ “КПІ ім. І. Сікорського” Мирошніченка Єгора Максимовича будуть використанні при розробці виробів ТОВ «УНІВЕРСИТЕТ СЕДІКОММ».

Директор *Геращенко К.В.* ТОВ «Університет СЕДІКОММ»  
*Геращенко К.В.*



					ДК52.466453.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		99